

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

**Průzkum a sanace dřevěných konstrukcí v pozemním stavitelství
a jejich specifika v historických objektech**

**Survey and reconstruction of historical timber
in the building constructions**

Student:

Bc. Tereza Murínová

Vedoucí diplomové práce

Ing. Jana Daňková

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

Dřevěné konstrukce se vyskytují téměř u všech historických staveb. Jejich trvanlivost je ovlivněna vlhkostí, dobou trvání zatížení a dalšími faktory. Při rekonstrukci těchto objektů vzniká potřeba zvyšovat jejich únosnost, která umožňuje při návrhu užívání jistou variabilitu. Toto je výhodné u objektů, pro něž se smysluplné využití teprve hledá. Zároveň je nutné zajistit tuhost objektu ve vodorovném směru, jež bývá nedostatečná nebo zcela chybí.

V případě oprav historicky cenných konstrukcí je cílem návrhu sanace citlivě zvolit optimální způsob zásahu tak, aby byla zachována původnost a památková hodnota všech prvků. Volba sanační technologie je dána výsledky provedeného stavebně technického průzkumu a stavebně historického průzkumu.

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku sanací dřevěných trámových stropů. Součástí této práce je návrh sanace stropní konstrukce nad 2. NP na zámku v Bílovci.

Anotation

Wooden structures are found at almost all historic buildings. Their durability is affected by humidity, duration of load and other factors. It is important to increase strength of wooden structures in the restoration of these buildings, which enables a variability for the design of future's use. This is useful for objects, for which we are still looking for meaningful recovery. It is also necessary to provide stiffness in the horizontal direction, which is often inadequate or completely missing.

Proposal of redevelopment of historically valuable structures aims at carefully choose the optimal method of intervention in the case of repairing. This is done due to maintain originality and historical value of all elements. The choice of remediation technology is determined by the results of the construction - technical survey and architectural - historical survey.

This work is focused on redevelopment of wooden beamed ceilings. Part of this work deals on proposal of redevelopment of wooden ceilings over the 2nd floor at Bílovec castle.

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení	8
1. Úvod.....	11
2. Dřevo v historických konstrukcích.....	12
2.1 Stavba a vlastnosti dřeva	12
2.2 Degradace dřeva a dřevěných prvků	17
2.3 Použití dřeva v historických konstrukcích	18
2.3.1 Tvary stavebního dřeva	20
2.3.2 Spojovací prostředky dřeva	22
2.4 Historické dřevěné stropní konstrukce	23
3. Průzkum historických konstrukcí	27
3.1 Metodika průzkumů dle NPÚ	27
3.2 Specifika průzkumu historických dřevěných konstrukcí stropů	28
3.2.1 Doporučený postup při provádění stavebně technického průzkumu dřevěných konstrukcí stropů	30
3.2.2 Detekce poruch u historických dřevěných konstrukcí	31
3.3 Metody zkoušení historických dřevěných konstrukcí	32
3.3.1 Zkoušení IN SITU	32
3.3.2 Laboratorní zkoušky	36
3.3.3 Biologický průzkum	38

4. Sanace dřevěných konstrukcí.....	40
4.1 Konstrukční sanace dřevěných prvků	40
4.1.1 Metody zpevňování dřevěných prvků	41
4.1.2 Příložkování	41
4.1.3 Výškové nastavení	42
4.1.4 Zesílení pomocí lamel na bázi uhlíkových vláken	42
4.1.5 Kotvení do ocelové konzoly.....	43
4.1.6 Protézování.....	44
4.1.7 Plombování.....	46
4.1.8 Konzervování zpevňující substancí	47
4.1.9 Nepřímé způsoby zpevnění	47
4.1.10 Spřažené dřevobetonové konstrukce	48
4.2 Chemická sanace dřevěných prvků	51
5. Trámový strop na zámku v Bílovci.....	56
5.1 Stavebně technický průzkum trámového stropu nad 2. NP na zámku v Bílovci	58
5.2 Návrh sanace trámového stropu na zámku v Bílovci	67
5.3 Experimentální ověření konstrukční sanace.....	69
5.3.1 Smyková zkouška spřažení	69
5.3.2 Zkoušení vrutů.....	71
5.3.3 Zkoušení lišty.....	75

5.4 Experimentální ověření chemické sanace	83
5.4.1 Nátěr.....	84
5.4.2 Máčení.....	87
5.4.3 Vakuová impregnace	90
5.4.4 Simulace injektáže	93
5.4.5 Posouzení vhodnosti jednotlivých aplikací chemické ochrany.....	94
5.5 Vyhodnocení sanací trémového stropu z hlediska požadavků památkové péče, ekonomiky a vlivu na životní prostředí.....	95
6. Závěr.....	97
7. Poděkování.....	98
8. Seznam použitých pramenů	99
9. Přílohy	102

Seznam použitého značení

A	Plocha tělesa [m^2]
ČSN	Česká státní norma
D	Průměr [m]
E_{stat}	Statický modul pružnosti při 12 % vlhkosti [MPa]
EASYCRETE	Vysoce tekutý a velmi lehce zpracovatelný beton
EN	Evropská norma
F	Působící síla [kN]
F_{est}	Maximální odhadované zatížení [kN]
F_{max}	Maximální zatížení [kN]
HJ	Tvrdost dle Janky [N.m^2]
IN SITU	Na místě
ISO	Mezinárodní norma
KS	Kopaná sonda
NP	Nadzemní podlaží
NPÚ	Národní památkový ústav
PP	Podzemní patro
PUR	Polyuretan
Sb.	Sbírka
SÚRPMO	Státního ústav pro rekonstrukce památkových měst a objektů
U	Válcovaný profil
UV záření	Ultrafialové záření
VS	Vrtaná sonda
a (příp. b, l)	Rozměry tělesa [m]
a_w (příp. b_w, l_w)	Rozměry tělesa při vlhkosti w [m]

apod.	A podobně
atd.	A tak dále
b	Šířka tělesa [m]
č.	Číslo
d_1	Výška tělesa při zkoušce betonu v tahu za ohybu [m]
d_2	Šířka tělesa při zkoušce betonu v tahu za ohybu [m]
et al.	A ostatní
f_{DT}	Výsledek destruktivní zkoušky
f_c	Pevnost v tlaku betonu [MPa]
f_{cf}	Pevnost v tahu za ohybu betonu [MPa]
f_m	Pevnost v tahu za ohybu rovnoběžně s vlákny při 12 % vlhkosti [MPa]
$f_{m,k}$	Normálová pevnost v tahu za ohybu rovnoběžně s vlákny [MPa]
f_{NDT}	Výsledek nedestruktivní zkoušky
h	Výška tělesa [m]
k_i	Počáteční modul posunutí [kN/mm]
k_s	Modul posunutí [kN/mm]
kol.	Kolektiv
l	Délka tělesa [m]
	Vzdálenost podpor při zkoušce betonu v tahu za ohybu – 300 mm
m	Hmotnost tělesa [kg]
m_n	Hmotnost vzorku před provedením nátěru (máčení) [kg];
m_s	Hmotnost tělesa vysušeného do ustálené hmotnosti [kg]
m_w	Hmotnost tělesa o vlhkosti w [kg]
m_x	Hmotnost vzorku po provedení nátěru (máčení) [kg]
max.	Maximálně

min.	Minimálně
např.	Například
obr.	Obrázek
resp.	Respektive
tl.	Tloušťka
t_p	Hloubka penetrace kladivem pilodyn[mm]
$t_{p,12}$	Hloubka penetrace kladivem pilodyn při 12 % vlhkosti [mm]
tzv.	Takzvaný
viz.	Lze vidět (z latinského videlicet)
w	Vzájemné posunutí mezi betonovou deskou a trámem [mm] Vlhkost [%]
w_m	Hmotnostní vlhkost [%]
Δw	Rozdíl vlhkosti dřeva od vlhkosti 12% [%]
\varnothing	Průměr výztuže [mm]
α	Korelační součinitel
v_e	Pružné posunutí [mm]
v_i	Počáteční posunutí [mm]
$v_{i,mod}$	Modifikované počáteční posunutí [mm]
v_s	Trvalé počáteční posunutí [mm]
ρ_{12}	Hustota dřeva při 12 % vlhkosti [kg.m ⁻³]
ρ_w	Hustota dřeva při vlhkosti w [kg.m ⁻³]

1. Úvod

Dřevo jako konstrukční materiál je na našem území používáno již několik tisíciletí, a zejména s dřevěnými stropy a krovky se můžeme setkat u většiny historických staveb. Při současných nárocích na stavby převážně trémové stropy nevyhovují z hlediska mezního stavu použitelnosti (kmitání, průhyb) a únosnosti. Z tohoto důvodu je tato práce zaměřena na sanaci těchto prvků formou zesílení, které zároveň zvýší tuhost objektu ve vodorovném směru.

Takovým případem zásahu je užití technologie spřažení dřevěných trámů s železobetonovou deskou. Jedná se o technologii poměrně novou a zkušenosti s jejím použitím, zejména u původních dřevěných konstrukcí, nejsou postačující. Ke spřažení desky a trámů slouží různé spojovací prostředky a v současnosti je zkoumáno použití lišty jako spřahovacího prostředku, který je vlepován do dřevěné části. Tento spoj je namáhán v konstrukci smykem, a proto je nutné ověřit jeho chování smykovou zkouškou podloženou normou ČSN EN 26891 o zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření spojů s mechanickými spojovacími prostředky. Návrh konstrukční sanace trémového stropu je vhodné doplnit i odpovídajícím chemickým ošetřením.

V této práci bylo vyhodnoceno chování tohoto spoje ve smyku v závislosti na technologii lepení spřahovacího prostředku. Tímto byly identifikovány specifické vlivy pro konkrétní vzorky dřeva, které mohou ovlivnit výsledek zkoušek. Otázkou zůstává chování tohoto spoje při reálných rozměrech trámů (nad 4 m).

Tato problematika byla řešena z důvodu ověření možností využití půdního prostoru zámku v Bílovci, přičemž je nutné posoudit vhodnost této sanační technologie pro danou konstrukci. Přijatelnost je hodnocena z hlediska stavebního, ekonomického a památkového, opomenout nelze ani vliv zásahu na životní prostředí.

Celkově je práce rozdělena do dvou částí. První část obsahuje obecné teoretické informace o dřevěných trémových stropích, jejich průzkumu a sanaci. Druhá část je praktická, zaměřující se na trémový strop z 50. let minulého století nad druhým nadzemním podlažím na zámku v Bílovci.

2. Dřevo v historických konstrukcích

Dřevo je použito v mnoha současných i historických konstrukcích díky svým příznivým vlastnostem především pro konstrukce namáhané ohybem (trámové stropy, překlady). V historických stavbách bylo dřevo taktéž uplatněno i v tažených konstrukcích – táhlech, věncích a u tažených prvků krovů, v konstrukcích pilotových základů, přístavních hrází, příček a obvodových konstrukcí (hrázděné zdivo) apod.

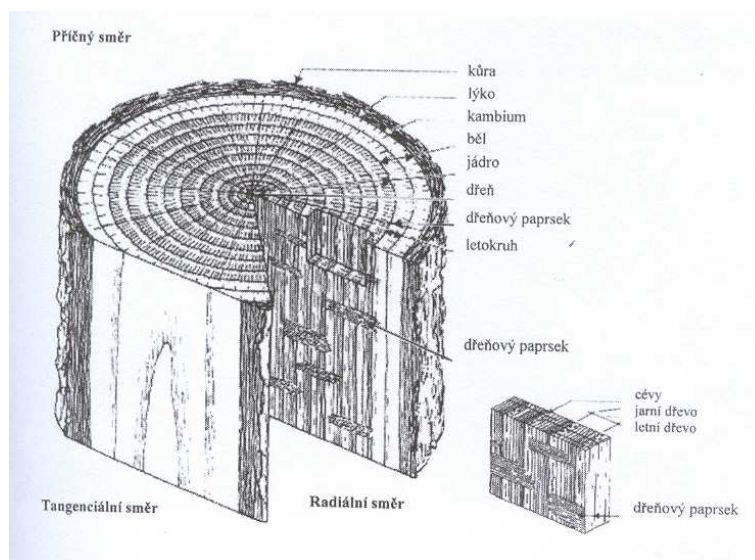
Při použití dřeva v konstrukci je nutné zajistit jeho ochranu proti působení vnějších vlivů. Chránit dřevěné prvky můžeme jednak primárně vhodnou konstrukční úpravou nebo použitím přirozeně odolného dřeva. Pokud tato opatření nejsou dostatečná, použijeme chemickou ochranu. Konstrukční dřevo nebylo běžně chemicky ošetřováno až do 2. poloviny 19. století. Poté se začínají používat nátěry dehtem, oleji a nátěry protipožární, které jsou příčinou tzv. rozvláknění dřeva.

2.1 Stavba a vlastnosti dřeva

Dřevo má svou charakteristickou stavbu, kterou tvoří systém pórů, kapilár, mikrokapilár a dřevní hmoty, jejichž uspořádání výraznou měrou ovlivňuje vlastnosti dřeva. Při stanovení druhu dřeviny vycházíme z makroskopické stavby dřeva, neméně důležitý je i jeho mikroskopický rozbor. Mluvíme – li o makroskopické stavbě dřeva, rozeznáváme kůru (soubor povrchových vrstev), lýko (vnitřní vrstva kůry vedoucí produkty fotosyntézy), kambium (tenké dělivé pletivo mezi lýkem a dřevem, v němž dochází k nárůstu dřeva do šířky), běl (světlejší část dřeva přiléhající ke kambiu vedoucí vodu a živiny), jádro (vnitřní část dřeva neobsahující živé buňky, obvykle tmavě zbarvené), dřev (světlé řídké pletivo ve středu kmene, u starších stromů obvykle odumřelé), dřevové paprsky (kolmé k podélné ose, přenášejí živiny v příčném směru) a pryskyřičné kanálky (systém buněk typický pro některé jehličnany sloužící k tvorbě a hromadění pryskyřice). [19]

Při mikroskopickém určování druhu dřeviny jsou pozorovány rozdíly v anatomické stavbě na třech řezech – transverzálním, radiálním a tangenciálním. Transverzální (příčný řez) je kolmý k ose kmene, radiální řez probíhá středem kmene rovnoběžně s jeho osou, poslední

tangenciální řez neprochází středem kmene, ale je také rovnoběžný s jeho osou (viz. obr. č. 1). Stavba jehličnatých dřevin je mnohem jednodušší než u dřevin listnatých, zatímco u jehličnanů se vyskytují pouze dva hlavní prvky – tracheidy a parenchymatické buňky, u listnáčů můžeme najít další specializované elementy jako cévy, libriformní vlákna atd. [19]



Obr. č. 1 Makroskopická stavba dřeva [19]

Z hlediska chemického složení je dřevo tvořeno z 90 až 95% makromolekulárními látkami, konkrétně sacharidy (celulózou a hemicelulózou) a ligninem. Celulóza tvoří kostru buněčných stěn a díky svým krystalicky uspořádaným dlouhým lineárním řetězcům z glukózových monomerů je chemicky poměrně odolná. Hemicelulóza, tvořená sacharidy s postranními krátkými řetězci, se vyskytuje společně s celulózou v buněčných stěnách. Jedná se o látku amorfni, a tudíž chemicky méně odolnou. Další makromolekulární látkou je amorfni vysokomolekulární lignin, který se vyskytuje v mezibuněčné hmotě, ale můžeme jej najít i v dalších vrstvách. Lignin ovlivňuje výslednou pevnost dřeva tím, že jednotlivá vlákna prováže do jednoho celku. Nevýhodou je jeho citlivost k oxidačním činidlům. Ve dřevě se vyskytují další anorganické (např. soli alkalických zemin) a organické látky (sacharidy, alkaloidy, fenolické látky atd.) [19]

Dřevo jako nehomogenní anizotropní materiál obsahuje různé vady (odchylky od normálního stavu), které následně ovlivňují jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Rozeznáváme vady:

Růstové:

- suky – hranolové, plošné, kruhové, oválné atd.;
- trhliny – dřevné, mrazivé, odlupčivé;
- nepravidelnosti struktury – odklon vláken, smolníky, zárosty atd.

Další vady:

- vady řezáním (oblíny, vady řezu, chlupatost atd.);
- deformace dřeva definované v normě ČSN EN 844-3 (zakřivení příčné, šroubovitě, podélná atd.);
- poškození biologickými škůdci – plísněmi, houbami a hmyzem (viz. následující kapitola). [19]

Jednotlivé druhy dřevin se mohou svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi výrazně lišit, odlišný bývá i jejich vzhled. Hodnotíme – li barevnost dřeva, je možné říci, že tmavší dřeva obsahují větší množství tříslovin a pryskyřic, čemuž odpovídá i jejich zvýšená odolnost proti hnilobám, a tím i větší trvanlivost. [19]

Dřevo je využíváno jako konstrukční materiál převážně díky svým výborným mechanickým vlastnostem, zejména pevnosti v tahu za ohybu, nízké objemové hmotnosti a opracovatelnosti. Modul pružnosti se zvyšuje s rostoucí objemovou hmotností a klesá s vlhkostí. Hodnota tlakových, tahových a ohybových modulů pružnosti se téměř neliší (užívána jedna hodnota), ovšem modul pružnosti kolmo k vláknům je až 20x nižší než v podélném směru. V normě ČSN EN 338 jsou uvedeny třídy pevnosti dřeva pro stavební konstrukce s hodnotami pevností, modulů pružnosti a hustoty a pravidla pro zařazení do těchto pevnostních tříd (viz. obr. č. 2). [24]

	Topol a jehličnaté dřeviny									Listnaté dřeviny					
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Pevnostní vlastnosti (N/mm²)															
Ohyb	14	16	18	22	14	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vlákny	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo na vlákna	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Tlak rovnoběžně s vlákny	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	34
Tlak kolmo na vlákna	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Smyk	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Tuhostní vlastnosti (kN/mm²)															
Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	7	8	9	10	11	12	12	13	14	10	10	11	14	17	20
Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Průměrný modul pružnosti ve smyku	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25

Obr.č.2 Třídy pevnosti dřeva [24]

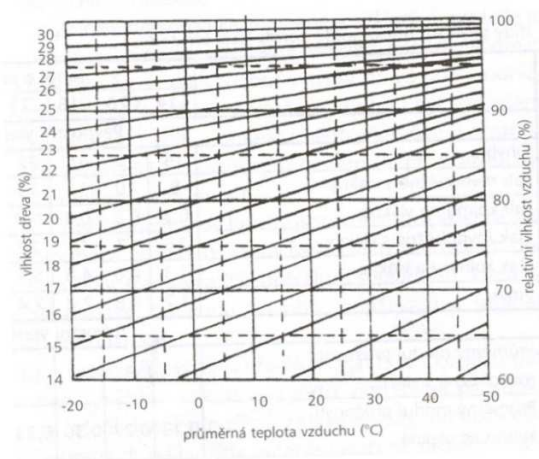
U dřeva zjišťujeme hustotu dřevní hmoty (význam jako hustota) a hustotu dřeva (významově objemová hmotnost), kterou je nutné určit při fyzikálních i mechanických zkouškách. Zkoumáme – li hustotu dřevní hmoty, dojdeme k závěru, že je stejná pro všechny dřeviny – přibližně 1500 kg.m^{-3} , což odpovídá hustotám jednotlivých složek dřevní hmoty (lignin 1400 kg.m^{-3} , celulóza 1580 kg.m^{-3}). Naproti tomu se hustota dřeva liší dle druhu dřeviny a s rostoucí vlhkostí její hodnota roste. Hodnota hustoty dřeva v suchém stavu se pro většinu dřevin nachází v intervalu od 400 kg.m^{-3} do 700 kg.m^{-3} (viz. tabulka č. 1). [24]

Hustota dřeva [kg.m^{-3}]		Druh dřeviny	Zástupci dřevin
od	do		
-	400	Velmi lehké	Vejmutovka, topol
400	500	Lehké	Jedle, smrk, borovice
500	600	Mírně těžké	Vrba, modřín, mahagon
600	700	Středně těžké	Bříza, jasan, dub, buk
700	1000	Těžké	Akát, habr
1000	-	Velmi těžké	Eben

Tabulka č. 1 Rozdělení dřevin dle jejich hustoty [24]

Určujícím parametrem dřeva je díky jeho značné hygroskopicitě vlhkost, která ovlivňuje jeho mechanické, elektrické i tepelné vlastnosti. Vlhkost je definovaná dle ČSN EN 844 – 4 jako podíl hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva (sušení při $103 \pm 2^\circ\text{C}$ do konstantní hmotnosti). Rozdílný pojem je přirozeně vlhké dřevo, které není úplně suché a jeho vlhkost je dána vznikem rovnovážného stavu při dané teplotě a vlhkosti vzduchu

okolního prostředí (viz. obr. č. 3). Takto proschlé dřevo vyschlé na vzduchu má vlhkost přibližně 20%, zatímco u čerstvě poraženého dřeva může být vlhkost od 40 do 170%. Se změnou obsahu vody souvisí také příslušné objemové změny, jako je sesychání (smrštění způsobené snížením vlhkosti) nebo opačný děj bobtnání (zvětšení rozměrů spojené s příjmem vody). Objemové změny způsobují deformace, které jsou odlišné v různých směrech (radiální, tangenciální a transverzální). [24]



Obr.č.3 Rovnovážná vlhkost dřeva [24]

Dřevo má taktéž výhodné tepelné vlastnosti. Tepelná vodivost suchého dřeva je poměrně malá, ovšem s rostoucí objemovou hmotností, vlhkostí a teplotou se zvětšuje, přičemž tepelná vodivost kolmo na vlákna je poloviční než ve směru vláken. Při 15% vlhkosti pryskyřičného dřeva kolmo na vlákna je $0,075 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, ve směru vláken $0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Velmi nízká je i teplotní roztažnost dřeva, z tohoto důvodu dřevěné konstrukce obsahují dilatační spáry jen kvůli objemovým změnám způsobené změnami vlhkosti materiálu. [24]

Elektrická vodivost dřeva a materiálů na bázi dřeva se zvyšuje s rostoucí vlhkostí, suché dřevo elektrický proud prakticky nevede. Dřevo se používá v konstrukcích pro akustické úpravy díky své schopnosti odrážet a pohlcovat zvuk. Dřevo má výborný akustický útlum a ozvučnost (rezonanci), což se s výhodou využívá při výrobě hudebních nástrojů.

Jednotlivé druhy dřeva se svou trvanlivostí výrazně liší. Na vzduchu, pod střechou a bez kontaktu se zemí má buk trvanlivost 5 až 95 let, borovice 90 až 120 let, dub 100 až 200 let, modřín 90 až 120 let a často používaný smrk 50 až 75 let. Obecně je možné říci, že dřeviny s tmavým jádrem jsou trvanlivější než dřeviny s jádrem světlým. Důležitým

faktorem, který ovlivňuje trvanlivost, je prostředí, ve kterém se prvek nachází. Zkrácení trvanlivosti způsobují změny vlhkosti (např. dřevěné prvky ve styku se zemí). [24]

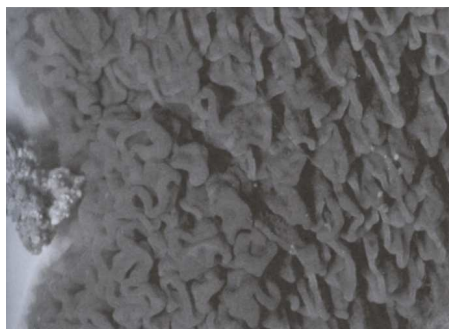
2.2 Degradace dřeva a dřevěných prvků

Na dřevo působí mnoho vlivů, které mohou způsobit jeho poškození či úplnou degradaci. Z hlediska druhu působení degradačních vlivů dělíme následujícím způsobem:

Fyzikální degradace – tato abiotická degradace je způsobena zejména změnou obsahu vody a s tím souvisejícími objemovými změnami (bobtnání či smršťování) a vnitřním napětím, přičemž je také důležitá rychlost této změny. Destruktivní vliv na dřevo mají extrémní teploty vyšší než 25°C a nižší než 5°C, relativní vlhkost vyšší než 65% a nižší než 50%, prudké výkyvy teplot a vlhkosti a neméně důležité je nerovnoměrné rozložení teploty. [19]

Biologická degradace je způsobena zejména houbami a hmyzem. Biologičtí činitelé potřebují ke své existenci vhodné prostředí, dřevokazné houby vlhkost dřeva vyšší než 20% a teplotu okolního prostředí od 3 - 8°C do 35 - 40°C, dřevokazný hmyz vlhkost dřeva vyšší než 10% a teplotu vyšší než 10°C. [19]

Napadení houbami můžeme rozdělit na napadení nižšími houbami – plísněmi, degradaci dřevozbarvujícími či dřevokaznými houbami, přičemž první dvě zmíněné poškození nezpůsobují přímý rozklad dřeva. Dřevokazné houby dělíme podle složky dřeva, jež napadají, na celulózožravé (hnědá nebo červená hniloba) a ligninožravé (bílá hniloba). Mezi celulózožravé dřevokazné houby patří dřevomorka domácí (viz. obr. č. 4), koniofora sklepní, trámovky atd., k ligninožravým řadíme outlovku pestrou a klanolístku obecnou. [19]



Obr.č.4 Dřevomorka domácí – detail plodnice [19]

Pokácené a odkorněné dřevo bývá při určitých podmínkách napadeno dřevokazným hmyzem, zejména brouky z čeledi červotočivých, hrbohlavovitých a tesaříkovitých (viz. obr. č. 5). Tito škůdci se živí škrobem a celulózu, pokud je navíc již dřevo napadeno dřevokaznými houbami, je pro hmyz lépe stravitelné. [19]



Obr.č.5 Tesařík krovový – dospělý brouk a larva [19]

Atmosférické degradace zahrnuje působení UV záření, vymývání ligninu, vzdušného kyslíku, deště, teploty a znečištěného ovzduší. Je nutné rozlišovat, zda tyto faktory působí postupně nebo najednou, protože výsledný efekt nemusí být kumulativní, ale změny materiálu mohou probíhat rychleji.

Chemická destrukce je nejčastěji způsobena kyselou hydrolýzou, což zapříčiňuje ovzduší s vyšším množstvím kyselých polutantů a zvýšená relativní vlhkost.

2.3 Použití dřeva v historických konstrukcích

Při stavbě dřevěných konstrukcí v pozemním stavitelství se uplatňují především tesařské práce, zahrnující zpracování silnějšího dříví, vazby formou tesařských spojů a spojovacími prostředky - dřevěné kolíky, železné hřeby, pásy, skoby a šrouby. Dále zde náleží stavebně - truhlářské práce jako např. výroba některých typů podlah, schodů, výplní otvorů, obložení atd. Pro zpracování dřeva se užívaly a stále užívají tesařské nástroje – sekery (hlavatka, širočina, pobíječka, křížovka, teslice a dlátovka), poříz, dláta, hoblíky (uběrák, hladíc, klopkář, macek, drážkovník atd.), nebozezy, pily (tesařská, rámová atd.), úhelnice, kolovrátek s rudníkem a spojovací materiál (třmeny, pásy, hřebíky, šrouby, skoby a kramle). [18]

U historických tesařských konstrukcí se můžeme setkat především s dřevěnými prvky a konstrukcemi z těchto jehličnatých dřevin:

- **Jedlové dřevo** je žluté až šedavě bílé barvy s malým množstvím pryskyřičných buněk, barva jádrového dřeva se liší od bělového. Dřevo je trvanlivé, stále v suchém prostředí, z tohoto důvodu je vhodný na stavební účely, ale často jej napadá červotoč. Jedle se hodí na výrobu šindele díky výtečné štípatelnosti. Není vhodné ji použít na nenatírané podlahy, protože mytím šedne a tmavne, navíc dochází k vypadávání suků. V minulosti byla často použita na výrobu krovů.
- **Smrkové dřevo** je žlutavě až červenavě bílé s jádrem barevně neodlišeným od běle, typická je jeho pryskyřičná vůně, dřevo má hrubý charakter, leskne se. Smrk se používá jako stavební dřevo, konkrétně je zpracováno na trámy, prkna i truhlářské prvky. Umístíme – li jej do stále suchého prostředí, je trvanlivé, jinak jej napadají houby. Tato dřevina byla a je často užívána na výrobu krovů a stropů.
- **Borovicové dřevo** má červenavě až žlutavě bílou barvu, u čerstvě pokáceného dřeva se jádro neliší od běle, po vyschnutí je jádro tmavě hnědé. Obsahuje četné pryskyřičné kanálky a je hrubší než výše uvedené dřeviny. Díky vysokému obsahu pryskyřic je vhodné na konstrukce vystavené střídavě působící vlhkosti – okenní rámy, venkovní schodiště a stejně jako smrk se užívá k výrobě trámových stropů a krovů.
- **Modřínové dřevo** má lesklé jádrové dřevo červenohnědé barvy, zatímco bělové dřevo žlutavě bílé, obsahuje četné pryskyřičné kanálky a jeho letokruhy jsou zvlněné. Tento druh dřeva je velice trvanlivý jak ve vlhku, tak i na suchu. Pod vodou je jeho trvanlivost dokonce neomezená, proto se užívá na vodní, mostní a důlní konstrukce, výplně otvorů a venkovní schody. Zároveň je toto dřevo prakticky nehořlavé, proto se užívalo i u konstrukcí, které požár mohl poškodit. Pevností se vyrovná dubovému dřevu, je však levnější a z tohoto důvodu jej často nahrazuje. [18]

Z listnatých dřevin můžeme najít především prvky vyrobené z následujících dřevin.

- **Dubové dřevo**, u nějž rozeznáváme dub letní (opadává na podzim) a dub zimní (ponechá si své suché listy až do jara). Má hnědou barvu různých odstínů, jež se označuje jako dubová. Tento druh dřeva je obvykle nejkvalitnější, ovšem také nejdražší, proto také bývá nahrazován modřínem. Používá se k výrobě

stupnic schodů, truhlářských výrobků, konstrukcí mostů, jezů, základových patek roubených staveb a na vysoce namáhané části technických zařízení (mlýny, zvonice).

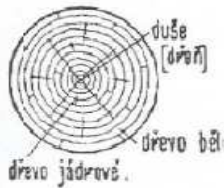
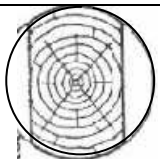
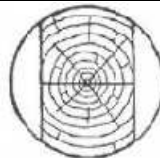
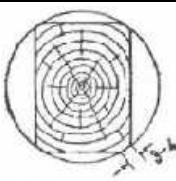
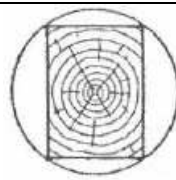
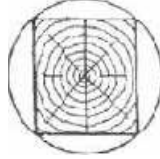
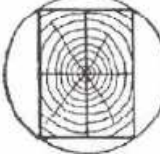
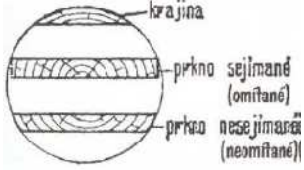
- **Olšové dřevo**, jež je šedočervené barvy, má pod vodou téměř neomezenou životnost, proto se používá ve vodním stavitelství, dále také v truhlářské a soustružnické výrobě i k zhotovení špalíkové dlažby. [18]

2.3.1 Tvary stavebního dřeva

Podle druhu zpracování rozlišujeme stavební dřevo na kulatiny, hraněné dřevo a řezivo (viz. tabulka č. 2).

V historických konstrukcích byly prvky navrhovány pomocí empirických vztahů. Trámy, které mají sloužit pro prvky namáhané na ohyb, by měly mít obdélníkový průřez s poměrem jeho šířky k výšce 4:7 až 5:7. Dále u stropních trámů, které jsou vyztuženy záklopem a podbitím je výhodné mít poměr šířky k výšce 1:2 až 1:3. Obdélníkový průřez se dále využije pro vzpěry, kleště a pásy, zatímco sloupy namáhané na tlak se s výhodou volí kruhové, čtvercové, či mnohoúhelníkové. [18]

Jednotlivé prvky náležící k řezivu mají typické rozměry. Fošny mají šířku nad 25 cm a tloušťka je obvykle 50, 55, 65, 80 a 100 mm. Prkna jsou rozdělena v závislosti na jejich tloušťce na topinky (13 a 15 mm), šalovky (20 mm), truhlářská prkna (25 mm), polofalcová (30 a 35 mm) a falcová (40 a 45 mm) v šířkách 7, 10, 18 mm i větší a délce 4, 5, 6 m. Prkna jsou následně dělena do tříd v závislosti na množství trhlin, suků, rovnosti vláken a hranění. Typické profily latí 25/30, 30/50, 35/50 a 40/60 se vyskytují v délkách 3 až 6 m. [18]

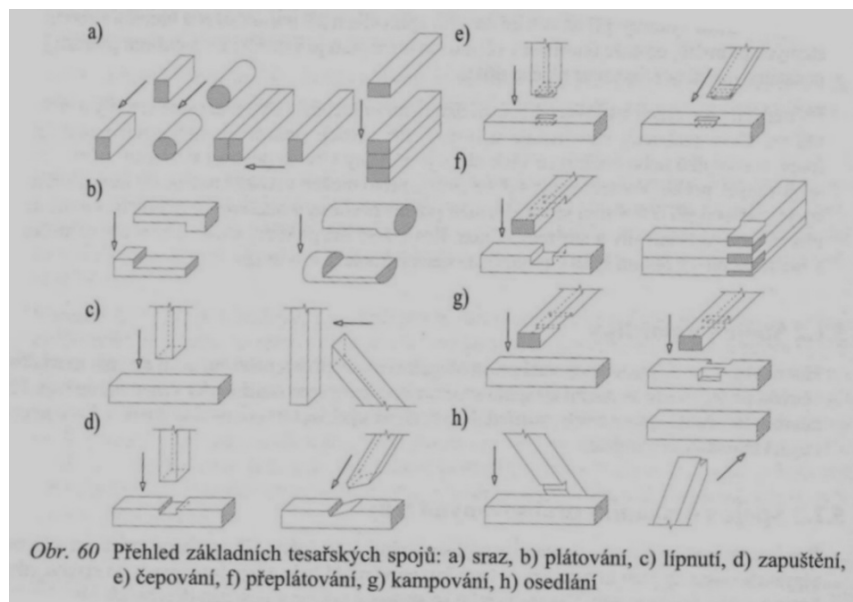
Stavební dřevo	Základní definice	Způsob zpracování	Zobrazení	Zástupci dřevěných prvků
Kulatina	Kůry zbavené kmeny	K dalšímu zpracování		
		Použití bez úprav		Piloty vodních staveb, kůly, lešení
Hraněné dřevo	Dříve označované dřevo opracované tesáním, nyní zpracováno pomocí řezání	Ořezání, případně otesání na dvou stranách		Srubové trámy, pražce, mostiny, lyžiny
		Ořezání, případně otesání ze tří stran		Povalové trámy
		Zaoblení rohů trámů se šířkou oblíny 1/3 výšky trámu		Oblinové trámy
		Hranění často za 2/3, oblíny do 3 až 4 cm		Ostře hraněné trámy
		Podélné dělení trámu na poloviny		Trámy rozvržené slovou
		Podélné dělení trámu na čtvrtiny		Křížové trámy
Řezivo	Převážně kulatiny zpracované řezáním	Zpracování na omítané nebo neomítané prvky		Krajiny, fošny, prkna, latě, lišty, šindele

Tabulka č. 2 Stavební dřevo [18]

2.3.2 Spojovací prostředky dřeva

Spojování dřevěných prvků se provádí pomocí poddajných spojů s mechanickými spojovacími prostředky (kolíků, vrutů, svorníků, hřebíků atd.) a tesařskými spoji. U dřevěných konstrukcí existují také nepoddajná spojení formou lepených spojů, se kterými se setkáváme převážně u lepeného lamelového dřeva.

U historických objektů byly spoje prováděny nejčastěji pomocí tesařských spojů zajišťované dřevěnými mechanickými prostředky. Mezi základní typy tesařských spojů náleží spojení na sraz, plátování, lípnutí, zapuštění, čepování, předplátování, karpování a osedlání (viz. obr. č. 6). [21,25]



Obr. č. 6 Tesařské spoje [21]

U složitějších konstrukcí se zvýšenými nároky z hlediska únosnosti a dimenzí byly používány i železné prostředky (již od renesance). Rozvoj používání železných prostředků souvisí s rozvojem železárenské výroby v 19. století, v jehož závěru začíná nástup spojovacích prostředků ocelových. Mechanické prostředky dělíme na:

- spojovací prostředky kolíkového typu:
 - hřebíky a sponky;
 - kolíky a svorníky;
 - vruty;

- Spojovací prostředky povrchového typu:
 - hmoždíky;
 - desky s prolisovanými trny. [21,25]

Podle způsobu provedení jednotlivých prvků, to znamená podle tvaru, opracování, použitých detailů, spojovacích prostředků a dendrochronologického rozboru, je možné datovat vznik zkoumané konstrukce.

2.4 Historické dřevěné stropní konstrukce

U historických staveb se nejčastěji setkáváme s dřevěnými trámovými stropními konstrukcemi v různých modifikacích, především v prostorách spíše soukromého rázu a ve vyšších podlažích objektu. Tyto konstrukce byly používány nejčastěji do rozponu 6 m, u rozponů větších se používalo středového podvlaku (dřevěného, od poloviny 19. století ocelového) podepřeného sloupky, nebo se v posledním podlaží propojila konstrukce krovů a stropů ve společnou soustavu, přičemž stropnice sloužily současně jako vazné trámy. Strop nacházející se pod krovem byl z protipožárních důvodů chráněn vrstvou hlíny. [28]

„Základní dělení dřevěných trámových stropů (platné od 19. století) je na:

a) Dřevěné stropy spalné

- *jednoduchý trámový strop;*
- *jednoduchý trámový strop se záklopem a násypem;*
- *jednoduchý trámový strop se zapuštěným záklopem a násypem;*
- *kazetový strop;*

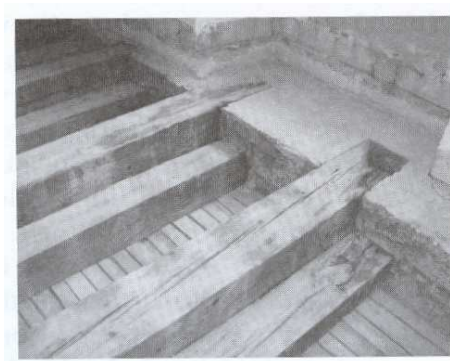
b) Dřevěné stropy polospalné

- *trámový strop s rákosovou omítkou, záklopem a násypem;*
- *rámový strop s rákosovou omítkou, zapuštěným záklopem a násypem;*
- *trámový strop s rákosníky;*
- *trámový strop do travers;*
- *trámový strop s křížovými vzpěrami – fošnový strop;*
- *povalový strop.“ [28]*

Stropní trémové konstrukce můžeme také rozlišit v návaznosti na době výstavby, kde byly užívány specifické způsoby provedení v závislosti na umístění stavby (viz. tabulka č. 3).

Historický sloh	Provedení stropu
Románský	Pro náročné stavby trémové, jiné případy nejsou prokázány.
Gotika	Povalové s jedním hraněným trémem (i klenuté), pohledové trámy často s příslušnou profilací, počátek malované výzdoby.
Renesance	Pohledové trémové s deskovými lištovými nebo překládanými záklopy, ve vyšším prostředí podhled rovný deskový, kazetový, omítaný, malovaná výzdoba, iluzivní klenby, na venkově stále povalové stropy.
Baroko	Pohledové trémové s deskovými překládanými záklopy, ve vyšším prostředí podhled omítaný, štukový i malovaný, od 18. století nespálne úpravy – dodatečné podbití a omítání, užití dvou vrstev trémů – podlahy a podhledu, typlové stropy.
Klasicismus	Ojediněle pohledové trámy na venkově, ve většině případů omítané a štukové podhledy, dvojité skladba trému ve vyšším prostředí samozřejmá, typlové stropy, konec užití iluzivních klenb.
2. polovina 19. století	Ve většině případů omítané podhledy, dvojité skladba trému pro náročné provedení, na venkově typlové, v závěru období ocelové válcované profily s dřevěnými trémky.

Tabulka č. 3 Vývoj konstrukcí stropů [25]



Obr. č. 7 a č. 8 Konstrukce podlahy zdvojená a typlová[20]

Hlavní nosnou částí stropní konstrukce jsou dřevěné trámy neboli stropnice, které byly ukládány na zdi průčelní a střední, výjimečně na příčky, štítové a schodišťové zdi s minimální tloušťkou 300 mm (při výšce místnosti 2,6 m a hloubce traktu 5,5 m i na příčky tl. 150 mm). Tloušťka nosné zdi se zpravidla volila dle jejich světlé vzdálenosti (viz tabulka č. 4). [28]

Volná délka	Tloušťka nosné zdi
Do 3,5 m	Min. 300 mm
Do 6,5 m	Min. 450 mm
Nad 6,5 m	Min. 600 mm

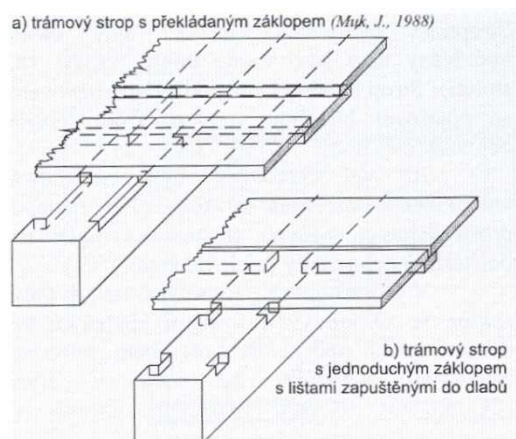
Tabulka č. 4 Dimenze nosných zdí dle volné délky trámů [28]

Volná délka rozhodovala také o hloubce uložení stropnic (viz tabulka č. 5). Rozteče trámů byly obvykle v rozmezí 0,75 až 1,25 m, přičemž z důvodu zamezení přímého přenosu vlhkosti ze zdiva do trámů musely být od zdiva vzdáleny 20 až 40 mm. Trámy bývají uloženy v kapsách ve zdivu na nenasákavých dřevěných podkladcích (tl. 30 až 50 mm), zároveň musí být mezi zdivem a trámem vzduchová vrstva tloušťky 20 až 40 mm, která brání přenosu vlhkosti do trámů. Dimenze trámů byly určovány na základě zkušenosti stavebníků a podle příslušných stavebních řádů (např. Stavební řád pro Prahu z roku 1815, Stavební řád pro venkov z roku 1833, Pražský stavební řád z roku 1866, Český stavební řád z roku 1889). Jen výjimečně byly používány základní statické výpočty. Kotvení trámů do zdiva bylo prováděno pomocí trámových kleštín. [28]

Volná délka	Délka uložení stropnic
Do 2 m	Min. 100 mm
Do 4 m	Min. 150 mm
Do 6 m	Min. 200 mm
Do 8 m	Min. 250 mm

Tabulka č. 5 Úložná délka stropnic dle volné délky trámů [28]

Z důvodu větší únosnosti a lepší tepelné izolaci se ke konstrukci stropů používaly i kuláče propojené kolíky, které jsou označovány jako povalové stropy. Tyto stropy byly obvykle omítané. [28]



Obrázek č. 9 Provedení záklopů dřevěných trámových stropů [28]

Podlaha (fošnová na polštářích) již od období středověku byla od záklopu oddělována násypem, podlahy cihlové a keramické byly oddělovány maltou. Záklop byl již od období pozdní gotiky prováděn jako tzv. dvojitý (fošny ve dvou vrstvách pokládáné s přesahem), od období renesance se užíval lištový záklop, kde fošny byly kladeny vedle sebe a spáry se podbíjely lištou. Zvláštním případem provedení záklopu bylo umístění krátkých kulatin, tzv. štěpin omotaných povříslý a opatřených zahrocenými konci, do drážky na bocích trámu, kde spodní strana kulatin byla omítnuta a trámy byly ponechány jako pohledové. Mezi další zvláštní provedení trámových stropů patří stropy s krátkými vzdálenostmi mezi trámy, jejichž záklop tvoří fošny uložené ve stejném směru – tzv. kapucínské stropy. [28]

Již v období renesance byly trámové stropy opatřeny omítanými podhledy, i když v následující výstavbě se této úpravě často neužívalo, od konce 18. století vlivem josefínských reforem bylo nutné dřevěné konstrukce opatřit z důvodu požární ochrany v podhledu rákosovou omítkou, štukem nebo malbou. [28]

3. Průzkum historických konstrukcí

Před započítím provádění stavebně technického průzkumu je nutné nejprve uskutečnit stavebně historický průzkum. Informace o současném stavu jednotlivých konstrukcí jsou získávány ze stavebně technického průzkumu, který je nutné provádět v souvislosti s prováděním prací na odstranění vad a poruch a také před započítím prací na návrhu dalšího užívání stavby.

Výsledky tohoto druhu zkoumání jsou závislé jednak na použitých zkušebních postupech, ale také na zkušenosti osob, jež průzkumy provádějí.

3.1 Metodika průzkumů dle NPÚ

Při návrhu a provádění úprav historických konstrukcí musí být podle zákona č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči provedeny náležité průzkumy, výzkumy a dokumentační práce, jež zaručí, že budou poznány a zachovány všechny kulturně historické hodnoty objektu. Toto zkoumání je záležitostí mezioborové spolupráce odborníků.

V památkové péči rozlišujeme průzkumy dle [14]:

- **Stavebně archeologický průzkum** je zaměřen na nalezení pozůstatků existence člověka a zpravidla se provádí pod zemí, výjimku zde tvoří například průzkum násypů kleneb a dřevěných stropů. Provádí se jako záchranný nebo vědecký dle zákona č. 20/1987 Sb. a úmluvy o ochraně archeologického dědictví Evropy.
- **Stavebně historický průzkum** zkoumá vznik, provedení a historické hodnoty jednotlivých částí objektu. Při tomto průzkumu je možné použít částečně destruktivní postupy – kopané sondy. Metodika jeho provádění není předmětem norem ani jiných předpisů. V praxi je stále užívána metoda SÚRPMO.
- **Restaurátorský průzkum** je určený k zisku informací pro provedení restaurátorských prací u malířských a sochařských uměleckých děl, uměleckořemeslných děl dle zákona č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči. Během samotného restaurování jsou nová zjištění a postupy prací zaznamenávány do závěrečné zprávy.

- **Stavebně technický průzkum** vychází ze stavebně historického průzkumu a zkoumá technický stav konstrukcí, jejich dimenze, materiálové vlastnosti a poruchy. Zásah do konstrukce musí být ovšem minimální. Umístění sond a způsob provádění schvaluje příslušný orgán památkové péče. Tyto informace slouží s výsledky předchozích průzkumů jako podklad pro návrh sanace, případně rekonstrukce a jejich provedení.
- **Operativní průzkum** zaznamenává nová zjištění nalezená v průběhu prováděných prací. Obvykle je prováděn u objektů v havarijním stavu, nečekaných nálezech, odkrytí původně nepřístupných prostor apod.

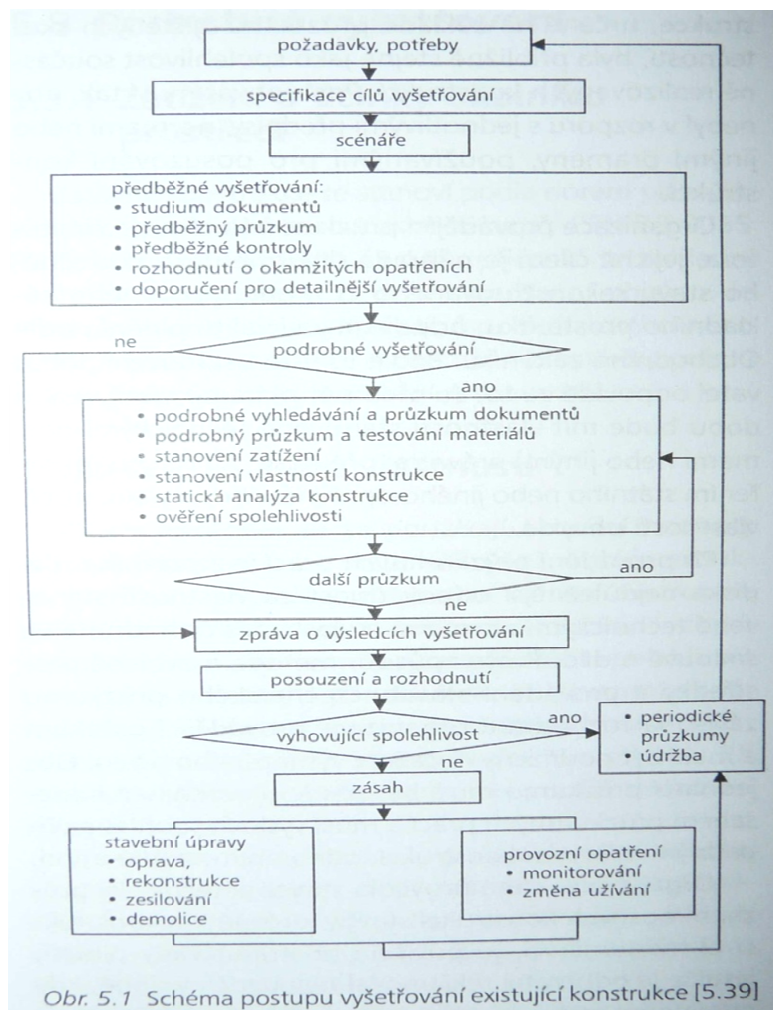
Pod pojmem metodika průzkumů historických staveb rozumíme odborně stanovený postup provádění a vypracování dokumentace, jež má vést k zajištění jednotné kvality všech pořizovaných výzkumů.

Průzkumy mají tyto fáze:

- **sběr informací** o objektu z kronik a různých archiválií, jež je často spojený s předběžnou prohlídkou místa;
- **vyhodnocení prvních informací** vede k návrhu dalšího postupu průzkumu;
- **podrobný průzkum** slouží k získání těchto detailních informací, na které je průzkum zaměřen;
- **vyhodnocení výsledků** a popis nálezů, které byly zjištěny během průzkumu;
- **závěrečná zpráva** s návrhem následných opatření (doporučení dalšího provedení průzkumů, návrh sanací apod.). [31]

3.2 Specifika průzkumu historických dřevěných konstrukcí stropů

Stavebně technické průzkumy staveb se provádějí podle normy ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí a dle ČSN ISO 13822: Hodnocení existujících konstrukcí. Obvykle se provádí ve třech stupních: předběžný, podrobný a doplňkový průzkum. Metodika stavebně technického průzkumu je popsána vývojovým diagramem (viz. obr. č. 10).



Obr. č. 10 Schéma postupu vyšetřování existující konstrukce [10]

Při průzkumu dřevěných konstrukcí historických staveb, zejména trámových stropů, se musíme soustředit na specifické problémy:

- Tyto konstrukce jsou skryté, při průzkumu je nutné odstranit překrývající části.
- Dřevěné části byly v průběhu stavebního vývoje objektu ve většině případů změněny nebo vyměněny.
- V případě nepředvídatelných vlivů (požár, válka atd.) byly vždy poškozeny, případně zcela zničeny.

3.2.1 Doporučený postup při provádění stavebně technického průzkumu dřevěných konstrukcí stropů

1) Předběžný stavebně technický průzkum - sběr informací, předběžná prohlídka

Pokud je to možné, získáváme základní informace o původu stropní konstrukce ze stavebně historického průzkumu, jinak je nutné opatřit si informace z kronik a jiných archiválií. Pokud není k dispozici zaměření skutečného stavu konstrukce, musí být provedeno. V opačném případě porovnáme jeho shodnost se skutečností. Z hlediska technického stavu se při prohlídce zaměříme na zkoumanou konstrukci. Dále je nutné sledovat výskyt trhlin v omítkách stropu i přilehlých zdích, nadměrné průhyby, průsaky vody a stopy biologického napadení. Pokud je konstrukce alespoň částečně odkrytá, zjišťujeme typ stropu, konstrukční uspořádání prvků apod. [27]

2) Vyhodnocení získaných informací

V této části posuzujeme závažnost zjištěných poruch v závislosti na okolnostech, které mohly vést k jejich vzniku (požáry, přetížení vlivem změny užívání, záplavy atd.). Na základě takto zpracovaných informací navrhne rozsah, umístění a způsob provedení sondáže (kopané sondy nebo použití optických přístrojů), zjišťování fyzikálně – mechanických vlastností a způsob jejich ověřování.

3) Provedení podrobného průzkumu konstrukce a analýza konstrukce

K provádění podrobného stavebně technického průzkumu přistupujeme tehdy, když výsledky předběžné fáze průzkumu nejsou dostačující. Na počátku podrobného průzkumu je potřeba navrhnout na základě dokumentace stavby sondáž, která musí být odsouhlasena příslušným památkovým úřadem. Sondy musí postihnout všechna kritická místa vytyčená předběžným průzkumem. Při návrhu jednotlivých sond musíme respektovat metodiku NPÚ a zásady sondáže (rozsah sondáže, sondy přes konstrukci podlahy, upřednostnění sondáže optickými přístroji apod.). Cílem podrobného průzkumu je získání informací o konstrukčním uspořádání stropu, deformacích, rozměrech, stavu a anomáliích trámů. Dále se popisují fyzikálně – mechanické vlastnosti materiálů pomocí destruktivních i nedestruktivních zkoušek. Z takto získaných hodnot je následně vytvořena analýza stropní konstrukce, která pomocí statického výpočtu modeluje chování konstrukce při současném i předpokládaném budoucím zatížení.

4) *Shrnutí a posouzení konstrukce z výsledků průzkumu, doplňkový průzkum*

V této části jsou vyhodnoceny všechny aspekty poškození (rozsah, druh, stupeň a aktuálnost poškození, jeho příčiny apod.), vlivy na použitelnost a únosnost stropní konstrukce. V případě, že výsledky podrobného průzkumu je nutné dále doplnit, provádíme doplňkový stavebně technický průzkum, který zahrnuje biologické, chemické a dendrochronologické průzkumy. Výstupem této činnosti je vypracování závěrečné zprávy, jejíž součástí je návrh opatření.

5) *Následný návrh opatření*

Při vypracování projektu s návrhem vhodných opatření dbáme na to, aby byl zachován maximální podíl původních dřevěných konstrukcí. Veškeré zamýšlené opatření musí být konzultovány s příslušným orgánem památkové péče.

3.2.2 Detekce poruch u historických dřevěných konstrukcí

Při zjišťování poruch a závad dřevěných konstrukcí se musíme soustředit především na vzniklé deformace dřevěných prvků, jako jsou průhyby, pootočení, zkroucení, posun v uložení, změny tvaru konstrukce apod. Dále je nutné najít místa s nadměrným tahovým či tlakovým napětím ve dřevě (pomocí tónu, který zní při poklepu prvku), vyhledat poruchy spojů (vysunutí a pootočení prvku ve spoji, otlacení nebo rozštípnutí dřeva atd.) a uvolnění železných táhel. Indikátorem poruchy jsou také trhliny ve dřevě, případné deformace dřevěné konstrukce vyvolávají i trhliny ve zdivu. Je nutné najít konstrukční závady, rozeznat již provedené opravy konstrukce a určit, které prvky byly při renovacích odstraněny. K fyzikální degradaci dřeva dochází při zvýšené vlhkosti, což je obvykle zapříčiněno špatným odvodněním vody, resp. vlhkosti z konstrukce. Dále se určuje také výskyt dřevokazného hmyzu a hub. [27]

Při průzkumu dřevěných stropů je nutné zajistit přístup ke skrytým konstrukčním prvkům. Nejmenšího zásahu do stropní konstrukce dosáhneme průzkumem pomocí optických přístrojů, např. endoskopu a fibroskopu. Při použití těchto moderních přístrojů stačí vyvrtat otvor o velikosti pouze několik centimetrů. Použitím této přístrojové techniky zjistíme dimenze a skladbu konstrukce, stav dřeva lze zjistit jen orientačně. Při průzkumu dřevěných stropů se dále určuje délka uložení trámů a forma založení příček. Existuje – li možnost

výskytu maleb na podhledu (dle stavebně historického průzkumu), volíme provedení sond shora, naopak ze spodu se provádí sondáž při možnosti nalezení dřevěných vyřezávaných podhledů. Možné poruchy opět naznačují nadměrné deformace – průhyby, sklon podlahy, trhliny v omítkách podhledu. Nezbytné je určení skladby trámů kolem komínů, kde mohou být prováděny výměny, nebo jsou trámy uloženy i ve zdivu komínů.

Další dřevěné konstrukce, které se vyskytují u historických staveb a je nutné je zkoumat, jsou například krovy, dřevěné klenby kostelů, roubené a hrázděné konstrukce, dřevěné překlady, zárubně, trámy zatížené zdivem, dřevěné věnce a táhla, zvonové stolice a piloty.

3.3 Metody zkoušení historických dřevěných konstrukcí

Při průzkumech historických konstrukcí jsou zpravidla preferovány nedestruktivní metody. Provádíme – li nedestruktivní zkoušení, jistě získáme větší počet výsledků, které je možné následně statisticky vyhodnotit. Ovšem výsledky takovýchto měření jsou orientační a od výsledků destruktivních zkoušek se mohou lišit. Z tohoto důvodu se často provádí tzv. upřesněné nedestruktivní zkoušky, kde na jednom vzorku je provedeno zkoušení destruktivní i nedestruktivní, z jejichž poměru výsledků získáme korelační součinitel α .

$$\alpha = \frac{f_{DT}}{f_{NDT}} \quad [23] \quad (1)$$

, kde f_{DT} ... výsledek destruktivní zkoušky;

f_{NDT} ... výsledek nedestruktivní zkoušky;

3.3.1 Zkoušení IN SITU

Pro tzv. zkoušení IN SITU je charakteristické, že veškeré zkoušky jsou prováděny přímo na konstrukci v místě sond. Mezi tento druh zkoušení řadíme zejména vizuální prohlídku konstrukce standardní nebo s použitím optických přístrojů, měření šířky trhlin, určování rozměrů, nedestruktivní měření vlhkosti, tvrdoměrné metody atd.

Vizuální prohlídka je ve většině případů prováděná bez přístrojů u konstrukcí odkrytých nebo v místě kopaných sond. Pokud musí být proveden zásah do konstrukce, volíme co nejšetrnější metodu např. vizuální kontrolu pomocí optických přístrojů – vizuální endoskopická defektoskopie, které přenášejí obraz optickými vlákny.

Typy optických přístrojů vhodných pro vyšetření skrytých konstrukcí:

- boroskop tvořený pevnou tyčí se soustavou čoček, spojek, rozptylek, zrcadel a optických hranolů, která přenáší nezkreslený obraz;
- fibroskop, kde je obraz přenášen pomocí systému optických vláken, na jejichž množství záleží i kvalita obrazu;
- videoskop, který funguje na stejném principu jako fibroskop, na konci sondy je však umístěna kamera, která obraz digitalizuje a výstupem je tak digitalizovaný záznam, ze kterého lze pořídit fotografickou dokumentaci (viz. obr. č. 11)



Obr.č. 11 Videoskop

Při průzkumu pomocí optického přístroje se zaměřujeme na vizuální projevy degradace, jako jsou trhliny, napadení dřevokazným hmyzem, houbami a plísněmi, projevy zvýšené vlhkosti, uvolnění spojů apod. Poloha těchto nálezů musí být zaznamenána do dokumentace sond.

Při určování skladby podhledu a podlahy, mocnosti jednotlivých vrstev, rozměrů nosných prvků (výška, šířka, rozpětí), jejich roztečí, hloubky a způsobu uložení, jsou používána délková měřidla s přesností záznamu 0,001 m (svinovací metr, digitální metr apod.).

Ke zkoušení in situ řadíme také **měření deformací, šířky trhliny a jejich změn**. Při tomto měření je nutné určit množství trhlin, jejich průběh a také jejich počáteční šířku při zahájení měření. Počáteční šířka se stanovuje převážně optickými metodami (příložné měřítko, lupa se stupnicí, měřicí mikroskop s nitkovým křížem apod.), případně radiačními metodami. Při měření deformací a trhlin je možné pracovat s celou konstrukcí nebo měřit jen relativní posuvy části konstrukce (vhodné pro měření aktivity trhlin). Přístroje měřící průhyby a posunutí pracují na různých principech, dělí se následujícím způsobem.

- a) Mechanické přístroje měří deformace s různou přesností pouze na mechanickém principu. Do této kategorie patří přístroje pracující na principu posuvného měřítka, průhyboměry mostního krabicového systému Frič, nekonečné průhyboměry a indikátorové hodinky.
- b) Hydrostatické přístroje pracující na hydrostatickém principu slouží k měření výškových změn vztažených k pevně určenému bodu.
- c) Mezi optické měření náleží videometody (záznam i o průběhu deformací), nivelace a měření mikrometry. Zde je možné zařadit také analýzu digitálního obrazu, kdy je pomocí míry z zakreslení zobrazeného již známého rozměru určen převodní poměr, jež slouží k vyjádření ostatních rozměrů.
- d) Elektrické přístroje převádějí změny délky a úhlů na změny elektrických veličin – elektrického odporu, indukčnosti, kapacity a napětí. [16,23]

Při zjišťování aktivity trhlin užíváme přístrojů určených pro zjišťování relativních deformací v určitém místě. Cílem měření je určení změn měrné délky vymezené části objektu – přírůstky či úbytky, jež jsou vyvolány změnou zatížení konstrukce. V praxi se nejčastěji užívají tyčkové tenzometry, příložné tenzometry, příložný můstkový tenzometr s plochými pružinami, tenzometry strunové, příložné tenzometry – extenzometry a odporové tenzometry. [23]

Stanovení vlhkosti dřeva elektrickou odporovou metodou, probíhá podle normy ČSN EN 13183-2. Toto zkoušení je založeno na rozdílné elektrické vodivosti dřeva o různé vlhkosti. Při zkoušení jsou hroty vlhkoměru zabodnuty do dřevní hmoty a na displeji se poté

zobrazí hledaná vlhkost (viz obr. č. 12). Přístroj musí být kalibrován. Pro dosažení co největší přesnosti měření, je nutné odstranit povrchové vrstvy dřeva, které zpravidla bývají chemicky ošetřené. Chemikálie ve dřevě mohou zvyšovat jeho elektrickou vodivost, a tím zkreslovat výsledky měření. V praxi se často používá hrotový vlhkoměr. [10,17]



Obr.č. 12 Odporový vlhkoměr

Dále ke zkoušení in situ řadíme tvrdoměrné metody, které se současným měřením vlhkosti, vedou k získání informací o hustotě dřeva a následně i pevnosti. Výhodou tohoto zkoušení je také možnost rozlišení degradovaných a zdravých částí dřeva. Obecně se tvrdoměrné metody dělí na metody vrypové, vtiskové, vnikací, odrazové a další. Pro určení tvrdosti dřeva se používají především zkoušky prováděné podle Janky nebo přístrojem Pilodyn.

Určení **statické tvrdosti podle Janky** není v současnosti užíváno a provádí se podle normy ČSN 49 0136: Zjišťování fyzikálních a mechanických vlastností přírodního dřeva. Přístroj je tvořen ocelovým válečkem, v němž je ocelová kulička s průměrem $D=11,28$ mm, která je vtlačována do materiálu konstantní silou F . Výsledkem zatěžování je vtisk o hloubce 5,64 mm, průmětu do roviny 100 mm^2 a ploše polokoule 200 mm^2 , který se následně přepočte na statickou tvrdost HJ při vlhkosti w podle vztahu:

$$HJ_w = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad [23] \quad (2)$$

Statická tvrdost HJ_w se udává s přesností na 0,1, jednotkou je $N.m^2$, která se však neuvádí.

Zkoušení kladívkem Pilodyn 6J umožňuje určení a posouzení poškozených částí (napadení biologickými škůdci), což přímo souvisí s jeho snížením pevnosti. Princip této metody spočívá v měření hloubky vpichu t_p ocelového kolíku o průměru 2,5 mm, který je do dřeva zaražen silou 6 J. Porovnáme – li hloubky vpichu v jednotlivých částech, můžeme určit místa poškození a míru jejich poškození. U zdravých i poškozených partií můžeme z výsledků zkoušky pilodynem a hodnot známých příslušných vlhkostí w pomocí experimentálních 5% regresních rovnic určit hustotu ρ_{12} při 12% vlhkosti, pevnost f_m a modul pružnosti dřeva E_{stat} . [23,32]

$$\left. \begin{aligned} \Delta w &= w - 12 & (3) \\ t_{p,12} &= t_p \cdot (1 - 0,007 \cdot \Delta w) & (4) \\ \rho_{12} &= -0,27102 \cdot t_{p,12} + 0,727987 & (5) \\ f_m &= -36,13 + 0,156743 \cdot \rho_{12} & (6) \\ E_{stat} &= -14441,49 + 55,7834 \cdot \rho_{12} & (7) \end{aligned} \right\} [32]$$

, kde w je vlhkost dřeva stanovená odporovou metodou [%];

Δw je rozdíl změřené vlhkosti od vlhkosti 12 %, může nabývat záporných hodnot [%];

t_p je hloubka penetrace kladivem pilodyn [mm];

$t_{p,12}$ je hloubka penetrace kladivem pilodyn při 12 % vlhkosti [mm];

ρ_{12} je hustota dřeva při 12 % vlhkosti [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

f_m pevnost v tahu za ohybu rovnoběžně s vlákny při 12 % vlhkosti [MPa];

E_{stat} statický modul pružnosti při 12 % vlhkosti [MPa].

3.3.2 Laboratorní zkoušky

V případě, že je možné odebrat vzorky materiálu, můžeme provádět destruktivní zkoušky v laboratoři, nebo je možné vykonat upřesněné nedestruktivní zkoušky, jejichž princip je uveden v předchozí kapitole. Další odběry jsou prováděny za účelem na chemické a biologické zkoušky, dendrochronologické určení stáří dřeva a makroskopické, či mikroskopické zjištění druhu dřeviny.

Stanovení **hustoty dřeva** se provádí podle normy ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností. Dřevo je charakteristické tím, že snadno přijímá vodu a dle jejího

obsahu se mění také hustota dřeva. Z tohoto důvodu se při určování hustoty uvádí také vlhkost. Velikost vzorků se dle normy ČSN EN 408 musí volit dle rozměrů původního prvku, odběr se provádí z celého průřezu příčným řezem (nesmí obsahovat suky a smolníky). Předchozí norma ČSN 490108 umožňovala zkoušení hustoty na malých bezvadných vzorcích. Vzorky této velikosti lze použít i nyní, ovšem jen u listnatých dřevin. Zkouška ve své podstatě spočívá v měření a vážení vzorku, z čehož se následně vypočte hustota. Rozměry vzorku jsou stanoveny s přesností na 0,1 mm a váha s přesností na 0,01 g. Hustota dřeva se vypočte podle vzorce: [5,17]

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} \quad [5] \quad (8)$$

,kde m_w ... hmotnost zkoušeného tělesa o vlhkosti w v kg;
 a_w, b_w, l_w ... rozměry zkoušeného tělesa o vlhkosti w v m.

Vlhkost je možné určovat také laboratorně a to jako **hmotnostní vlhkost**, která je dána procentuálním podílem hmotnosti vody obsažené ve vzorku a hmotnosti téhož vzorku ve vysušeném stavu (sušený při teplotě $103 \pm 2^\circ\text{C}$ až do ustálené hmotnosti). Zkoušení probíhá také podle normy ČSN EN 408, jež předepisuje minimální objem zkoušeného hranolu $10 \pm 2 \text{ cm}^3$. [5,17]

$$w_m = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [5] \quad (9)$$

kde: m_w ... hmotnost s přesností na 0,01 g vlhkého materiálu v g,

m_s ... hmotnost s přesností na 0,01 g materiálu vysušeného do ustálené hmotnosti v g.

V laboratoři jsou také zkoušeny **pevnostní vlastnosti** podle postupů uvedených v normě ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností. Z hlediska omezeného množství vzorků jsou tyto zkoušky u historických konstrukcí využívány jen zřídka.

Zejména z hlediska návrhu chemické sanace je také nutné určit **druh použité dřeviny**. K tomu slouží mikroskopický rozbor vzorku, který provádí ve většině případů pouze odborné pracoviště. Druhým možným postupem je makroskopické určení dřeviny, kde podle daného klíče a makroskopických znaků dřeva na řezu je možné určit druh dřeviny. Makroskopickými

znaky rozumíme letokruhy, jádro, běl, vyzrálé dřevo, dřeňové paprsky, cévy, pryskyřičné kanálky, dřeňové skvrny, suky, povrchové a vzhledové vlastnosti dřeva (barva, lesk, textura, vůně) a v neposlední řadě fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva (hustota a tvrdost). [26]

3.3.3 Biologický průzkum

Mikroorganismy se obvykle nacházejí v místech zvýšené vlhkosti a jejich výskyt souvisí také s pohybem vzduchu v konstrukci. Při zjištění biologických stop na dřevě nebo v objektu se provádějí biologické průzkumy. V závěrečné zprávě biologického průzkumu jsou uvedeny druhy organismů vyskytujících se ve dřevě a jejich vývojová stadia a rozsah napadení.

Z takto získaných informací se určuje vhodný způsob sanace. Dále se navrhuje související úpravy tak, aby byly zajištěny vhodné podmínky, jež zamezují tvorbu a další rozvoj těchto mikroorganismů.

Průzkum biotického napadení stropních dřevěných konstrukcí se provádí pomocí vhodně situovaných sond. Vhodné umístění sond je zejména u zhlaví trámů v obvodových zdech a také v místech, kde mohlo docházet k zatékání nebo kondenzaci a u nižších pater objektů i ke vzlínání vody. Zároveň se musí při výběru míst pro sondy zohlednit i porušení přilehlých konstrukcí (vlhnutí stěn, trhliny v podhledech ...). [13]

U dřeva hodnotíme jeho pevnost a pružnost, dále také poškození dřevokazným hmyzem (viz. tabulka č. 6), poškození dřevokaznými houbami (viz. tabulka č. 7) a povrch dřeva (viz. tabulka č. 8)

Nevýznamné poškození	2 – 4 výletové otvory na plochu 1 m ² , ostatní hmota celistvá, pevná
Závažné poškození	5 – 16 výletových otvorů na plochu 1 m ² , poškození do 10 – 15% běli
Kritické poškození	Velké poškození běli až její úplná destrukce

Tabulka č. 6 Poškození dřevokazným hmyzem [13]

Žádné poškození	Celý povrch bez stop napadení
Ojedinelé poškození	Součet napadených ploch dosahuje max. 5% celkově hodnocené plochy povrchu zkoumané konstrukce nebo prvku.
Místní poškození	Součet napadených ploch je větší než 5%, ale max. 20% z celkové hodnocené plochy.
Rozsáhlé poškození	Součet napadených ploch je větší než 20%, ale max. 50% z celkové hodnocené plochy.
Souvislé poškození	Součet napadených ploch je větší než 50% celkové plochy.

Tabulka č. 7 Poškození dřevokaznými houbami [13]

Zdravý	Vryp je stejně namáhaný jako u porovnatelného zdravého dřeva, má stejný vzhled i charakter lomu třísky.
Částečně znehodnocený	Vryp v místech napadení je lehký (hloubka max. 5 mm, při dřevě o tloušťce menší než 15 mm do 1/3 tloušťky prvku).
Znehodnocený	Vryp v místech znehodnocení je lehký (hloubka větší než 5 mm, při dřevě o tloušťce menší než 15 mm větší než 1/3 tloušťky prvku).

Tabulka č. 8 Klasifikace povrchu dřeva [13]

4. Sanace dřevěných konstrukcí

Součástí stavebně technického průzkumu je doporučení pro návrh sanace. Způsob sanace má reflektovat stávající stav konstrukce a zároveň zohlednit navrhovaný způsob využití objektu. Do návrhu sanací historicky cenných objektů musíme zahrnout nejen požadavky podle stavebního zákona 183/2006 Sb., vyhlášky 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, ale i požadavky orgánů památkové péče.

Cílem sanací je omezení degradace a zachování funkčnosti jednotlivých konstrukcí. Mezi typické sanační zásahy patří zpevňování konstrukcí, provedení vhodných konstrukčních zásahů, které zamezují vzniku nežádoucích napětí (podepření, vynášení), odvlhčování objektu (vlhkost z kondenzace, vzlínání, zatékání), provedení izolací, chemická ošetření apod. Celková sanace dřevěných konstrukcí se obvykle realizuje jako sanace chemická (při výskytu biologických činitelů) a sanace konstrukční (při degradaci konstrukčních prvků a potřebě zesílení konstrukce jako celku).

4.1 Konstrukční sanace dřevěných prvků

Nedílnou součástí podkladů pro návrh konstrukční sanace je kromě stavebně technického průzkumu také analýza zkoumané konstrukce. Ve své podstatě se jedná o výpočtový model nosné konstrukce, který se provádí na základě výsledků provedeného průzkumu (rozměry, materiálové charakteristiky, zatížení, třídy ohrožení ...). Úkolem tohoto analyzování je určení statické funkce jednotlivých prvků, zjištění druhů namáhání a velikosti vnitřních sil vyvolaných zjištěným a pro případy rekonstrukcí i navrhovaným zatížením. Výsledkem je posouzení únosnosti a použitelnosti konstrukce (nutné uvést dle jakých norem bylo postupováno) s případným sanačním opatřením.

Při návrhu konstrukční sanace, by měly být upřednostňovány níže uvedené varianty v následujícím pořadí dle [27]:

- „1. Původní konstrukční systém nebo systém v minulosti změněný vyhovuje.*
- 2. Původní konstrukční systém vyhoví po odstranění konstrukčních závad, odstranění poruch nebo zesílení.*

3. *Původní konstrukční systém nevyhovuje – vytvoří se nový konstrukční systém s využitím původních konstrukcí.*

4. *Původní konstrukční systém nevyhovuje – vytvoří se nový konstrukční systém. Původní konstrukce se zachovají.*

5. *Původní konstrukční systém nevyhovuje – vytvoří se nový konstrukční systém. Původní konstrukce se odstraní“*

4.1.1 Metody zpevňování dřevěných prvků

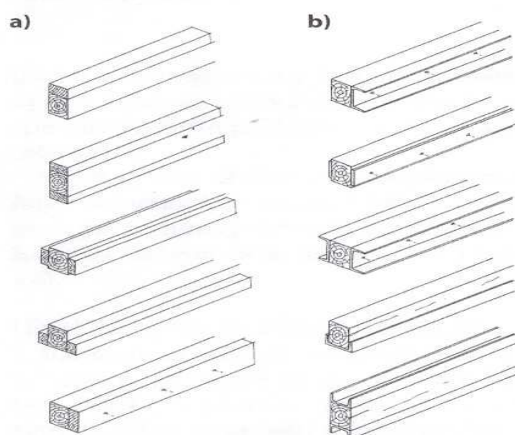
Zpevňování dřevěných konstrukcí je jednou ze stěžejních metod konstrukční sanace, jež se užívá při rekonstrukci různých druhů staveb. Dle druhu konstrukce a jejího poškození volíme vhodný způsob zpevnění, ve většině případů se bude jednat o jeden z následujících postupů:

- příložkování a výškové nastavení;
- aplikace uhlíkových vláken;
- kotvení do ocelové konzoly;
- protézování;
- plombování;
- konzervování zpevňující substancí;
- nepřímé způsoby zpevnění;
- spřažení.

4.1.2 Příložkování

Příložkováním dřevěných prvků rozumíme použití vnějších příložek ze dřeva (desky, hranoly vrstveně dřevo atd.), z oceli (desky, U profily) či z uhlíkových vláken, případně jiných materiálů. Toto přikládání příložek může být prováděno z jedné anebo z obou stran, po celé délce prvku nebo lokálně (ve středu, na jednom či obou koncích). Při této sanaci je nutné vyřešit připevnění příložky k prvku. Pro spojení dřevěných prvků s dřevěnými příložkami se obvykle užívají hřebíky a šrouby do dřeva, širší příložky upevňujeme svorníky, případně jinými ocelovými nebo dřevěnými spojovacími prvky. Při aplikaci jednotlivých spojovacích prvků je nutné dodržovat platné montážní postupy. Spojení ocelových příložek

(snesou poměrně velké zatížení, nejsou napadány biologickými škůdci) a dřevěného prvku se provádí pomocí svorníků. Ocelové příložky je nutné chránit proti korozi (primárně volbou nerezavějícího materiálu, či sekundární ochranou pomocí nátěru). Poté je lze s výhodou použít na zhlaví trámů vystavené zvýšené vlhkosti, ovšem komplikace s jejich užitím se objevuje při výskytu složitých konstrukčních uzlů. U památkových objektů není vhodné ocelové příložky používat. [33]

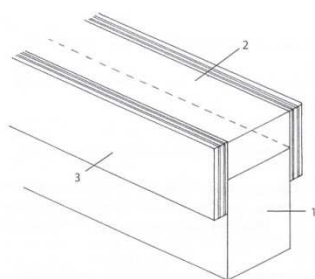


a) dřevěné příložky, b) ocelové příložky

Obrázek č. 13 Formy příložkování dřevěných prvků [33]

4.1.3 Výškové nastavení

Výškové nastavení se používá především při zesilování trámových stropů, jedná se o nastavení dřevěného prvku například pomocí polymerbetonu, dřeva atd.



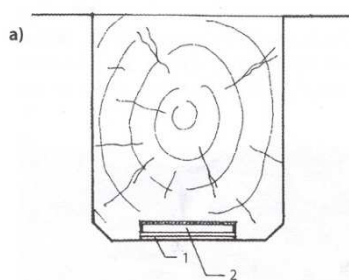
1 – trám, 2 – polymerbeton, 3 - bednění

Obrázek č. 14 Výškové nastavení dřevěného prvku polymerbetonem [33]

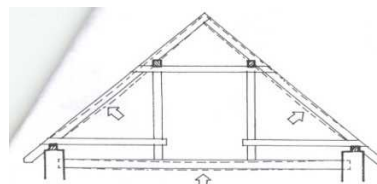
4.1.4 Zesílení pomocí lamel na bázi uhlíkových vláken

V dnešní době se stále více setkáváme s lamelami na bázi uhlíkových vláken, které vykazují výborné vlastnosti v tahu a vysoký modul pružnosti. Často se dnes navrhuje již u novostaveb

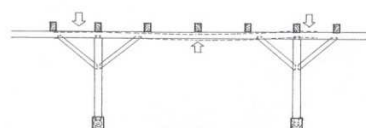
v místech velkých tahových napětí. S výhodou jsou užity i u rekonstrukcí starších objektů. Díky jejich vysoké pevnosti při malé tloušťce je lze vlepovat do vyfrézovaných drážek na spodní straně trámů, a tím také zároveň zachovat světlou výšku místnosti. Povalové stropy se řeší pomocí křížově umístěných lamel. U krovů lze takto zpevňovat také krokve, vazné trámy a vaznice, kde se většinou uhlíkové lamely aplikují pomocí lepidel do tažených oblastí, v některých případech je výhodné umístění i v tlačенých částech. [33]



Lamela z uhlíkových vláken (2) se vlepi do vyfrézované zóny trámu a zakryje dýhou (1), která je texturou a barevně shodná se dřevem trámu



Obr. 5 Zpevnění krokví a vazného trámu uhlíkovými lamelami (šipky znázorňují běžné uložení lamel do tažené části prvků)

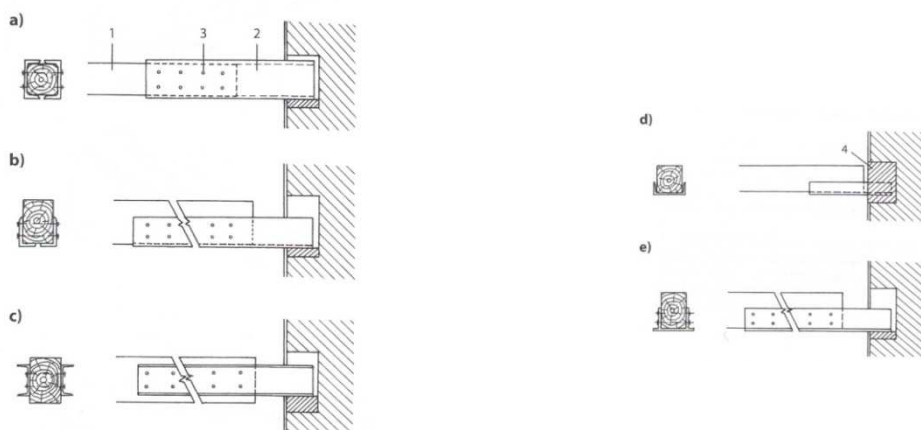


Obr. 6 Zpevnění vaznice uhlíkovými lamelami (šipky ukazují běžné uložení lamel do tažené i tlačенé části vaznice)

Obrázek č. 15 Zpevňování uhlíkovými lamelami [33]

4.1.5 Kotvení do ocelové konzoly

Kotvení do ocelové konzoly se používá především při silném poškození zhlaví stropních a vazných trámů. Při tomto druhu zpevňování se postupuje tak, že se nejprve odstraní poškozené zhlaví do vzdálenosti 0,3 až 1 m od čela při jeho současném statickém jištění. Poté můžeme užít klasický způsob kotvení (zbylá část trámu se upevní do konzoly svorníky a konec konzoly následně zafixuje do zdiva) nebo vkládat trám do speciálních monolitických nosníkových konzol z nerezavějící oceli (lze uplatnit i u povalových stropů). Druhá zmiňovaná metoda je výhodnější i z estetického hlediska, použité ocelové profily lze totiž lépe zamaskovat dřevem. [32]



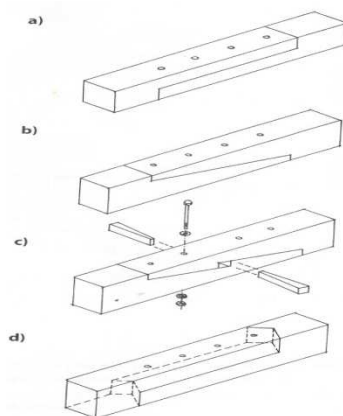
1 – stropní trám, 2 – ocelová konzola, 3 – svorníky, 4 – pevné ukotvení konzoly

Obrázek č. 16 Použití klasické ocelové konzoly [33]

4.1.6 Protézování

Protézováním dřevěného prvku rozumíme nahrazení poškozené části protézou, jejíž tvar se shoduje s chybějící částí, přičemž zachováváme nejen průřez, ale i typologii spojů původní konstrukce. Materiál protézy se ve většině případů shoduje s materiálem původního prvku (stejný druh dřeva, záměrné patinování), mohou však být použity i jiné (odlišný druh dřeva, polymerbeton atd.)

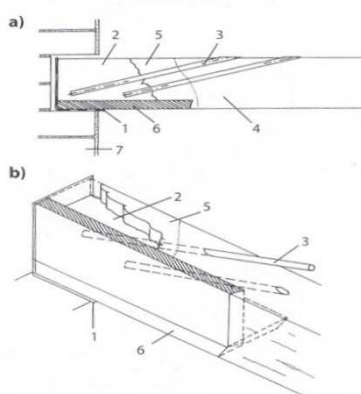
Klasické protézování se sestává z dřevěného prvku spojeného tesařskými spoji (většinou rovné nebo šikmé plátování zajištěné svorníky) s dřevěnou protézou. Na tyto spoje jsou kladeny nejen funkční, ale často i estetické nároky od architektů a památkářů. Rovné plátované spoje se uplatňují například u sloupků krovů (tlakové namáhání), při namáhání sloupů na kroucení či vzpěr je vhodné použít nůžkové spoje. Prvky namáhané na ohyb (krokve apod.) jsou protézovány šikmým plátováním, vzniká – li v opravované části i tah, zajišťuje se spoj ještě dubovými hmoždíky nebo hmoždíky typu bulldog. [33]



- a) rovný plátový spoj, b) šikmý plátový spoj, c) zaklínovaný šikmý plátový spoj, d) klínověčelní plátovaný spoj

Obrázek č. 17 Příklady použití klasického protézování [33]

Protézování beta metodou se používá především u historicky cenných konstrukcí, které vynikají svým výtvarným provedením a z tohoto důvodu je nutné zachovat i jejich zhlaví. Výroba protézy je prováděna z polymerbetonu nebo epoxidové pryskyřice, jež jsou následně vyztuženy betonářskou ocelí, sklolaminátem nebo uhlíkovými vlákny. Princip této metody spočívá v tom, že dřevěný prvek a zvolená výztuž je dokonale spojena syntetickým polymerem a přenáší zároveň tahové i ohybové napětí. Protéza bývá aplikována do dutiny původního prvku nebo do prostoru vzniklého odstraněním poškozeného zhlaví. Za speciální způsob protézování může být považováno i nahrazení degradované části dřevěným masivem, jež je přilepen tenkou vrstvou polymeru. [33]

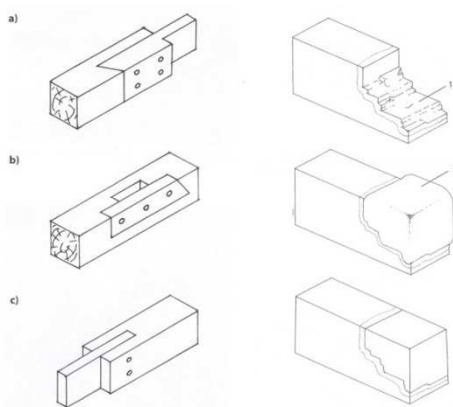


- 1 – separační PE fólie, 2 – dutina (uhnilé zhlaví), 3 – sklolaminátová tyč, 4 – zdravé dřevo, 5 – oslabená část dřeva, 6 – nové dubové dřevo (příložky, podložky), 7 - zdivo

Obrázek č. 18 Protézování beta metodou [33]

4.1.7 Plombování

Plombováním se nazývá doplnění nebo výměna degradovaného dřeva za plombu sloužící k obnově celistvosti prvku. Materiál plomby je obvykle ze dřeva (často stejný druh jako u sanovaného prvku – dodržovat orientaci vláken, šířku letokruhů), dají se však použít i různé tmely a tuhé pěny. Následně se vsazují do dutin, trhlin a spár, které vznikly přirozeným stárnutím během svého užívání, dále se umísťují i do části, u nichž bylo poškozené dřevo odstraněno. Plomby vyrobené ze dřeva se spojují se sanovanou konstrukcí pomocí lepeného spoje (pro interiéry kostní klíh, v exteriéru epoxidy), případně lze užít i spojovací prostředky. [33]



a) zasunutý čep, b) lokální plomba u dlabu, c) plomba s funkcí čepu

1 – oslabená zóna impregnovaná epoxidovou pryskyřicí, 2 – vsazený kus nového dřeva obalený ze všech stran vrstvou tmelu

Obrázek č. 19 Dřevěné plomby a plombování dřevěného prvku s nepravidelným poškozením [33]

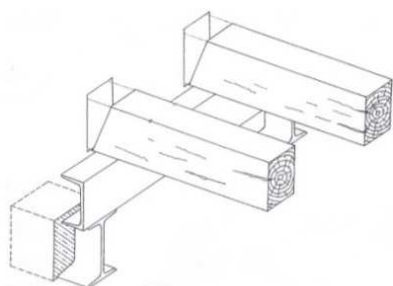
Používané tmely jsou obvykle několikasložkové, bývají výborně tvarovatelné, dokonale přilnou k dřevěnému podkladu, během tuhnutí a tvrdnutí nemění svůj objem, s časem přecházejí v pevnou látku, svými vlastnostmi se mají blížit dřevu (sesychání, bobtnání, tvrdost, tlaková pevnost). Zkoumají se také jejich vzhledové vlastnosti - odolnost proti vzniku trhlin (z toho plyne dostatečná pružnost), brousitelnost, povrchové úpravy atd. V dnešní době se často používají polyuretany plněné dřevěnými pilinami, epoxidy s jemným křemičitým pískem nebo dřevěnými částicemi. Pěnové systémy jsou opět několikasložkové, po vstříknutí do dutiny napění a následně tuhnou. Oproti tmelům se vyznačují nižší objemovou hmotností, což může být u větších konstrukcí výhodou. Nejčastěji používané pěny jsou polyuretany, dále se mohou aplikovat i silikony a fenoplasty. [33]

4.1.8 Konzervování zpevňující substancí

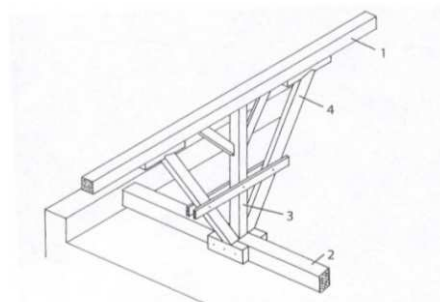
Konzervování zpevňující substancí se provádí u dřev napadených hnilobou, obsahujících požerky a jiné podobné vady. Tyto prvky se většinou lokálně hloubkově injektují pomocí roztoků (epoxidových pryskyřic, polyakrylátů, šelaků atd.), s co nejnížší viskozitou, aby pronikly do větších hloubek dřeva. Tato konzervace se může provádět také ve formě nátěru nebo nástřiku. Pokud je možné demontovat zpevňovaný prvek z konstrukce, používáme metodu máčení nebo vakuotlakou impregnaci (zaručí rovnoměrnou konzervaci prvku). Při sanaci památkově chráněných objektů by se neměla aplikovat rozpouštědla (např. voda), která způsobují bobtnání dřeva, následný vznik trhlin a výrazné tvarové deformace. Z toho důvodu se doporučuje aplikovat substance s nepolárními a málo polárními organickými rozpouštědly (toluen, benzín, terpentýn, aceton ...). [33]

4.1.9 Nepřímé způsoby zpevnění

Často se při zvyšování únosnosti konstrukcí volí i nepřímé způsoby zpevnění, v podstatě jde o podepření, odlehčení nebo ztužení. Lze je použít také jako dočasný zásah. Jejich použitím bráníme vzniku nechtěných napětí, deformací a trhlin. V principu jde o přenos zatížení z poškozených a neúnosných míst do sousedních či nově zbudovaných prvků, které spolehlivě přenesou zatížení.



Obr. 19 Podepření stropních trámů s poškozeným (odstraněným) zhlavím na ocelovém průvlaku



Obr. 23 Dodatečné (obvykle jen provizorní) podepření vaznice dvěma šikmými podpůrnými sloupky

Obrázek č. 20 Příklady podepření dřevěných konstrukcí [33]

Podepření se využívá především u oprav dřevěných stropů krovů a jiných dřevěných staveb. Průvlak (ze dřeva nebo oceli) nesený na konzolách, jež jsou zapuštěny do stěny, se využívá při podepření nosných trámů s uhnulým nebo poškozeným zhlavím. Chceme – li zabránit

nadměrnému průhybu trámu, zvolíme podepření ve středu nebo na několika místech pomocí dřevěných nebo ocelových sloupků. Takto podepřený trám se může zpevnit ještě příložkami. Jedná – li se o provizorium, je možné jej podepřít sloupkovou konstrukcí. U krokví při vážnějším poškození nestačí původní podepření, proto je musíme dodatečně podepřít z důvodu nadměrného průhybu nebo u vážnějších poruch zcela vyměnit. Nepřímo zpevnit lze i hambalky pomocí doplňkových pásů, příložek, podložek a desek s prolisovanými trny. [33]

Při opravě vodorovných stropních konstrukcí (stropní a vazné trámy) využijeme především odlehčování konstrukcí. Zatížení působící na poškozený prvek se pomocí odlehčovacích prvků přenesou na dostatečně dimenzovanou sousední konstrukci (případně přídatné části).

Ztužování má velký význam především u krovů a svislých konstrukcí, přičemž je možné ztužovat jak jednotlivé prvky a spoje, tak i konstrukční celky. Mezi nejčastěji používaný způsob této aplikace patří zavětrování prkny.

4.1.10 Spřažené dřevobetonové konstrukce

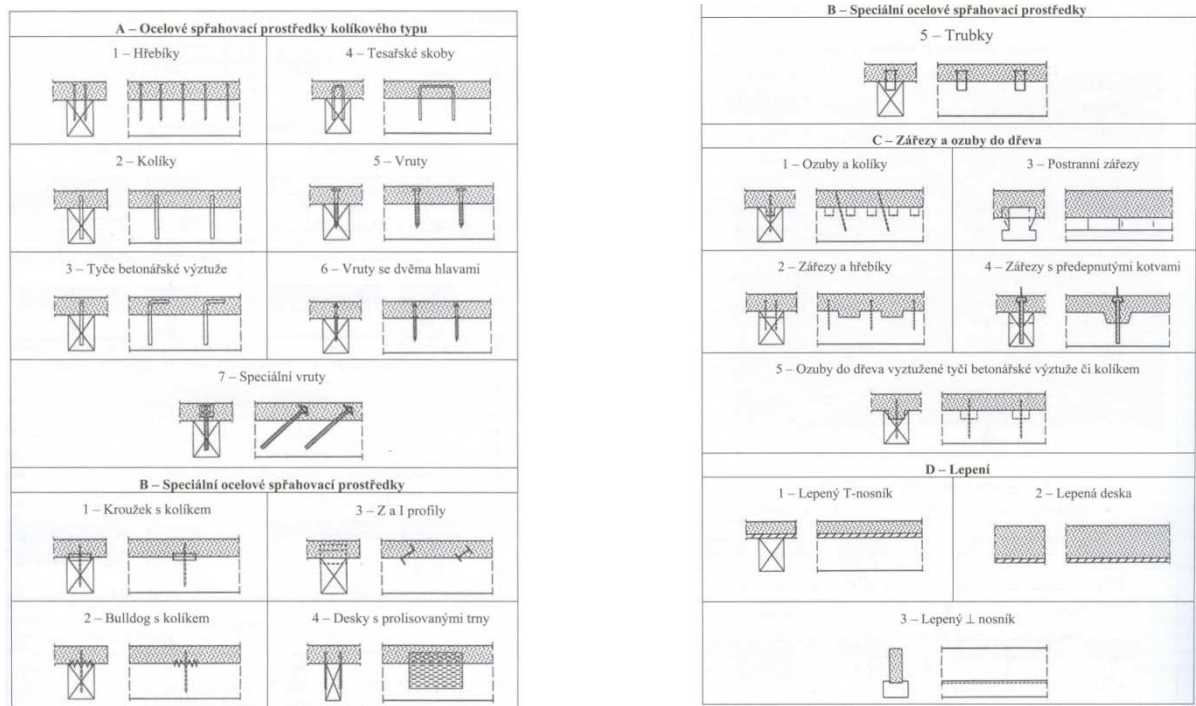
Dále se ke zpevňování dřevěných konstrukcí používají dřevobetonové spřažené konstrukce. V současné době se ve větší míře zkoumá možnost využívání kompozitních konstrukcí fungujících na principu optimálního spolupůsobení různých materiálů. Vhodným příkladem tohoto druhu konstrukcí jsou právě spřažené dřevobetonové stropy, které mohou být použity jak u starých, tak i u nových budov s dřevěnými stropními nosníky.

Použitím této technologie zvýšíme únosnost i tuhost stropní konstrukce a oproti tradičním dřevěným stropům dojde k zlepšení kročejové a vzduchové neprůzvučnosti a požární odolnosti.



Obr.č. 21 Spřažená dřevobetonová konstrukce

Únosnost a tuhost spřaženého dřevobetonového stropu závisí na rozměrech dřevěného nosníku a betonové desky, z toho vyplývá také poměr, jakým se dřevo a beton podílí na účinném průřezu (nutno zajistit efektivní spolupůsobení prvků). Pro výrobu betonové desky se používají betony s takovým stupněm vyztužení, aby se předešlo trhlinám od smršťování betonu a od ohybu betonové desky napříč dřevěných nosníků.



Obr.č. 22 Typy spřažení ve spřažených dřevobetonových konstrukcích [21]

Tuhost spřaženého stropu závisí hlavně na účinnosti spřažení betonu a dřeva a na ohybové tuhosti dřevěného nosníku. Z tohoto plyne, že tuhost spřaženého stropu je jen málo ovlivněna kvalitou betonu. Dřevo vykazuje značnou variabilitou svých vlastností a navíc je únosnost spřaženého nosníku ve většině případů limitována právě pevností dřeva v ohybu, ojediněle ve smyku. [21]

Pro aplikaci dřevobetonových spřažených konstrukcí je nutné:

- omezit použití v prostorách s vysokou relativní vlhkostí vzduchu a vysokou teplotou;
- ve spřažené konstrukci neaplikovat dřevo napadené dřevokaznými houbami, s vysokou vlhkostí a také dřevo obsahující dřeň;
- zaměřit se na existující i potenciálně možné výsušné trhliny, do těchto míst by neměly být vkládány spojovací prostředky;
- užívat spojovací prostředky s protikorozní povrchovou úpravou;
- věnovat pozornost vyztužení tlustých betonových desek, které by mělo předejít vzniku trhlin v tažené oblasti, a tudíž i ztrátě tuhosti spřaženého průřezu;
- chránit dřevo před vodou z betonové směsi nebo použít beton s nižším vodním součinitelem;
- opatrně zacházet s dřevinami s vyšším obsahem cukru, jelikož zpomalují tuhnutí betonu;
- při větším rozpětí trámů používat měkčí spřahovací prostředky;
- spřažené konstrukce použít hlavně v případech, kdy je nutné snížit průhybu stropní konstrukce. [21]

Technologie spřažených dřevobetonových stropních konstrukcí zároveň naplňuje cíle trvale udržitelného rozvoje v oblasti stavebnictví, jedná se zejména o:

- maximální možné využití pevnostních vlastností materiálu v konstrukci;
- jednoduchost a rychlost montáže na staveništi;
- minimalizace odpadů při výrobě komponentů a montáži konstrukce.

4.2 Chemická sanace dřevěných prvků

Při návrhu chemické ochrany dřeva postupujeme dle doporučení normy ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití. V této normě nalezneme klíč pro určení tříd použití dřevěných konstrukcí.

Před návrhem chemické sanace nejprve zajistíme provedení všech nutných konstrukčních zásahů primární ochrany dřeva. Jestliže jsou na dřevě patrné stopy výskytu biologického napadení, musí návrh chemické sanace předcházet biologický průzkum i v případě, že je daná dřevina označena jako trvanlivá (dle ČSN EN 460: Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení). [29]

Způsob chemické sanace je nutné určit podle normy ČSN EN 335 – 2: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 2: Aplikace na rostlé dřevo. Pokud je přirozená trvanlivost použitého dřeva dostatečná vzhledem k třídě ohrožení stavby, pokud jsou dodrženy zásady konstrukční ochrany dřeva a pokud není konstrukce napadená biologickými škůdci, není třeba volit chemické ošetření.

Riziko biotické degradace má přímou souvislost s třídami ohrožení dřeva, kde 1 znamená nejnižší riziko biotického poškození a 5 naopak nejvyšší pravděpodobnost znehodnocení. Zatřídění do jednotlivých tříd se provádí podle umístění dřevěného prvku a porovnání vlhkosti s její kritickou hodnotou 20%.

Dřevo v **třídě ohrožení 1** se nachází zcela pod střechou, tudíž není vystaveno povětrnostním vlivům, ani působení vlhkosti (vlhkost vždy pod 20%). Z tohoto důvodu je v této třídě ohrožení pravděpodobnost napadení dřevokaznými houbami a plísněmi zanedbatelná. Možnost napadení dřevokazným hmyzem a červotoči existuje v závislosti na druhu a opracování dřeva, geografických podmínkách a rozmnožení populace škůdce. [29]

Pro **třidu ohrožení 2** je typické umístění dřeva pod střechou, tudíž není vystaveno povětrnostním vlivům, ale vlhkost dřeva může někdy místy překročit 20%. V této třídě působí při překročení kritické vlhkosti na dřevo zejména dřevozbarvující houby a plísně. Napadení hmyzem je obdobné jako u třídy ohrožení 1. [29]

V **třídě ohrožení 3** není dřevo chráněno, čímž je vystaveno působení povětrnostních vlivů, ale není v kontaktu se zemí, nebo je jen částečně zakryto, a tudíž vystaveno opakovaně zvýšené vlhkosti. Zde bude vlhkost nad kritickou hodnotou 20% velmi častá, což následně zvyšuje riziko napadení dřevokaznými houbami. Napadení hmyzem je obdobné jako u třídy ohrožení 1. [29]

Do **třídy ohrožení 4** zařídíme dřevo, které je v kontaktu se zemí anebo sladkou vodou. V tomto prostředí je vystaveno tak silné vlhkosti, že kritické hodnoty 20% je dosaženo stále, a tudíž je dřevo náchylné k napadení dřevokaznými houbami, dřevokazným hmyzem a v některých geografických oblastech i termity. [29]

Pro **třidu ohrožení 5** je charakteristické dřevo v kontaktu se slanou vodou, kde vlhkost trvale překračuje hranici 20%. Dřevo v této třídě ohrožení je napadáno mořskými organismy, dřevokazným hmyzem a v některých oblastech i termity. [29]

V textu již byl zmíněn pojem přirozená trvanlivost dřeva, která se určuje podle normy ČSN EN 350-2 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě. Z důvodu vysoké variability odolnosti dřeva vůči různým druhům biologického napadení (dřevokazné houby, termiti, mořští škůdci dřeva atd.) je nutné přesně určit vlastnosti týkající se trvanlivosti jednotlivých dřevin a s tím související impregnovatelnost (viz. obr. č. 23).

N°	Vědecký název	Obecný název	Původ	Hustota/rozsah průměrných hod- not při vlhkosti 12 % kg/m³	Přirozená trvanlivost				Impregnova- telnost		Šířka bělo- vého dřeva	Poz- námka
					Hou- by	Hylo- trupes	Ano- bium	Ter- mites	Jádrové dřevo	Bělové dřevo		
2.1	<i>Abies alba</i> Mill., <i>A. excelsior</i> Franco [= <i>A. grandis</i> (Dougl.) Lindl.] <i>A. procera</i> Rehde	E: Fir F: Sapin D: Tanne Weißtanne Jedle	Evropa Severní Amerika	440-460-480	4	SH	SH	S	2-3	2v	x	
2.2	<i>Agathis damara</i> X: Agathis (A.B.Lambe) L.C.Rich [= <i>A. alba</i> Foxw.] <i>A. australis</i> (D.Don) Salisb., <i>A. sp.</i> pl.	O: Kauri	Austrálie Nový Zéland Malajsie Papua Nová Guinea	430-490-550	3-4	S	S	S	3	n/a	x	

N°	Vědecký název	Obecný název	Původ	Hustota/rozsah průměrných hod- not při vlhkosti 12 % kg/m³	Přirozená trvanlivost				Impregnova- telnost		Šířka bělo- vého dřeva	Poz- námka
					Hou- by	Hylo- trupes	Ano- bium	Ter- mites	Jádrové dřevo	Bělové dřevo		
2.3	<i>Araucaria an- gustifolia</i> (Bertol.) O.Ktze.	E: Parana Pine F: Pin de Parana D: Parana Pine Brasil- kiefer Borovice brazilejská	Brazílie	500-540-600	4-5	D	S	S	2	1	b	
2.4	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i> (D.Don) Spach	E: Yellow Cedar F: Yellow Cedar D: Yellow Cedar Cypřišek nutkajský	Severní Amerika	430-480-530	2-3	S	S	S	3	1	s	
2.5	<i>Cryptomeria japonica</i> (L.f.) D.Don	E: Sugi F: Cryptome- ria D: Sugi Kryptome- rie japonská	Východní Asie a pěstovaná v Evropě	280-320-400	5	D	n/a	S	3	1	s	
2.6	<i>Larix decidua</i> Mill., <i>L. kaempferi</i> (Lamb.) Sarg. [= <i>L. leptolepis</i> (Sieb. & Zucc.) Gord.], <i>L. x eurolepis</i> A.Henr. <i>L. occidentalis</i> Nutt.	E: Larch F: Méleze D: Lärche Modřín	Evropa Japonsko	470-600-650	3-4	S	S	S	4	2v	s	
2.7	<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	E: Norway Spruce F: Epicéa D: Fichte Smrk ztepilý	Evropa	440-460-470	4	SH	SH	S	3-4	3v	x	
2.8	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carr.	E: Sitka Spruce F: Sitka D: Sitka Fichte Smrk sitka	Sev. Ame- rika a pěstovaná v Evropě	400-440-450	4-5	S	SH	S	3	2-3	(x)	
2.9	<i>Pinus caribaea</i> X: Pitch Pine ¹ Morelet <i>P. oocarpa</i> Schi- ede	E: Caribbean Pitch Pine ¹ F: Pitchpin ¹ D: Pitch Pine ¹ Borovice karibská	Střední Amerika	710-750-770	3	S	S	M-S	4	1	m	
1 Toto se týká pouze dřeva, které má tmavé pryskyřičné jádrové dřevo. Obchodní zatřídění připouští přítomnost bělového dřeva. 2 Převážně bělové dřevo a potom obchodovaná jako „borovice tuhá“ nebo „borovice smolná“.												

Obr. č. 23 Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost některých jehličnatých dřevin [3]

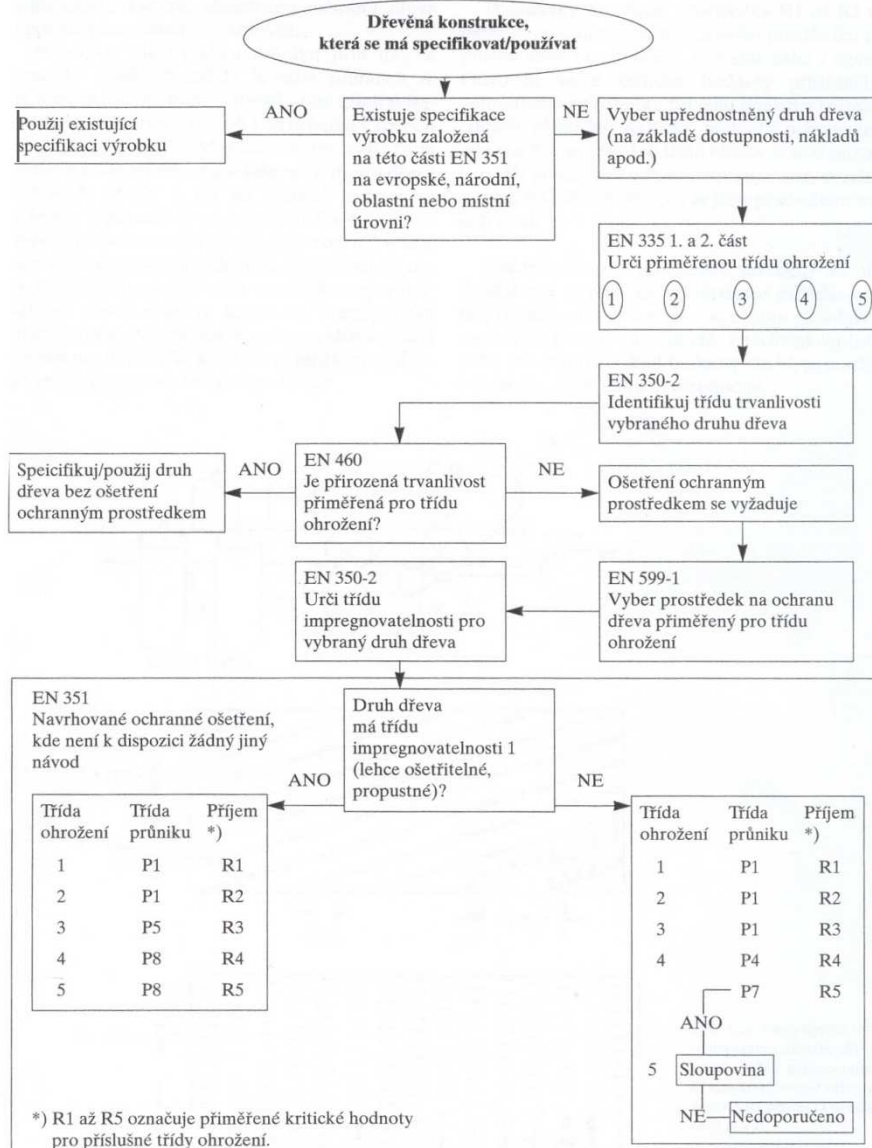
Známe – li tedy třídu ohrožení dřevěného prvku a jeho přirozenou trvanlivost, můžeme určit, zda je dřevo v daném prostředí přirozeně trvanlivé a chemická sanace není potřeba, nebo zda je chemické ošetření nutné. K tomuto posouzení slouží norma ČSN EN 460: Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení. V případě posouzení možnosti napadení dřevokazným hmyzem, musíme vycházet ze znalosti místních podmínek, existuje – li riziko napadení, které by mohlo způsobit vizuální porušení, případně ztrátu pevnosti, musí být dřevo klasifikováno jako náchylné k napadení dřevokazným hmyzem. Je – li znám výskyt termitů nebo mořských škůdců v dané oblasti, neošetřeno chemickým přípravkem může zůstat pouze jádrové dřevo, které je charakterizováno jako trvanlivé nebo průměrně trvanlivé (viz. ČSN EN 350-2). Pro posouzení trvanlivosti dřevin proti dřevokazným houbám je možné posoudit podle tabulky uvedené v normě ČSN EN 460 (viz. obr. č. 24).

Třída ohrožení	Třída trvanlivosti				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	0	(0)-(x)	(0)-(x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

<p>Klíč:</p> <p>0 dostatečná přirozená trvanlivost</p> <p>(0) přirozená trvanlivost je běžně dostatečná, ale pro určité podmínky používání je možno doporučit ošetření ochranným prostředkem (viz příloha A)</p> <p>(0)-(x) přirozená trvanlivost může být dostatečná, avšak v závislosti na dřevině, její propustnosti (viz 6.1) a podmínkách používání (viz příloha A) může být nutné ošetření ochranným prostředkem</p> <p>(x) ošetření ochranným prostředkem se obvykle doporučuje, avšak za určitých podmínek používání může být přirozená trvanlivost dostatečná (viz příloha A)</p> <p>x chemická ochrana je nutná</p>					
---	--	--	--	--	--

Obr. č. 24 Dřevokazné houby – návod pro třídy trvanlivosti dřevin pro použití v třídách ohrožení [6]

V závislosti na uvedených zatříděních a postupech je vhodné volit použitou ochranu proti biologickému napadení, ať už jedná o druh ochranného prostředku nebo formu jeho aplikace. Pokud je přirozená trvanlivost dřeva dostatečná vzhledem k třídě ohrožení, je možné zvážit, zda je chemická ochrana vůbec potřebná.



Obr. č. 25 Schéma pro posouzení potřeby chemické ochrany dřeva s technologickými požadavky [29]

5. Trámový strop na zámku v Bílovci

V současnosti se u většiny nevyužívaných historických staveb zkoumají možnosti jejich dalšího využití, které ovšem nedílně souvisí s dalším zatížením stávajících konstrukcí. Právě tato problematika se týká trámového stropu nad 2. NP na zámku v Bílovci, kde by bylo možné využít i půdní prostory objekty. Z tohoto důvodu je v této experimentální části zpracován průzkum s následným návrhem sanace dané konstrukce stropu.

Zkoumaný trámový strop je umístěn nad 2.NP na zámku v Bílovci. Zámek, původně renesanční z 16. století, byl několikrát přestavěn. Poslední velkou rekonstrukcí prošel po druhé světové válce, kdy kompletně vyhořel. Poté byl využíván jako sklad obilí, léků a později jako archiv stavebního úřadu. [15]

Zámek v Bílovci je evidován v ústředním seznamu nemovitých kulturních památek pod číslem 46285/8-1529 od 3. května 1958. [34]



Obr.č. 26 Zámek Bílovec

Nyní je zámek v majetku města a využití se pro tento objekt stále hledá. Zámek není prakticky udržován, opraveny jsou pouze místnosti v druhém podzemním podlaží, které mají sloužit jako vinný sklep. V prvním podzemním podlaží je stále ve dvou místnostech umístěn archiv Stavebního odboru v Bílovci, jinak je tento objekt nevyužíván.

Zámek v Bílovci se zachoval do dnešní doby v trojkřídlé dispozici s dvěma nadzemními podlažími, půdou a dvěma podzemními podlažími, přičemž nejnížší patro sklepů je částečně zasypáno. Hloubku základů se dosavadními průzkumy nepodařilo zjistit. Konstrukce tohoto objektu je z větší části tvořena stěnovým systémem z roku 1576, provedeného ze smíšeného zdiva, které tvoří pálené cihly a kámen z místních zdrojů. Konstrukce stěn je tzv. výplňového typu, kde nosnou část tvoří lícové vrstvy smíšeného zdiva vyplněné stavebním odpadem, který je zalit vápennou maltou. Typická je proměnná šířka zdiva, v místech navazujících na původní gotické hradby je šířka až 2 m. [15]

Vodorovné konstrukce zde můžeme najít dvojího typu – trámové stropy a klenby. Původní dřevěné trámové stropy, které na konci druhé světové války zcela shořely, byly nahrazeny dřevěnými trámy (pravděpodobně z borovicového a jedlového dřeva), které jsou uloženy do ocelových profilů nebo přímo na stěny a zality betonovou mazaninou. Větší část klenebního systému se dochovala do dnešní doby - v 1.NP v části východního křídla u původního průjezdu a v 1. PP jsou zachovány barokní cihelné klenby v celém rozsahu kromě místností válcových věžích (provedené při rekonstrukci v 50. letech), 2.PP je dochováno jen částečně - větší část klenutých renesančních sklepů je zasypána. [15]

Další novodobé úpravy v zámku jsou značně rozsáhlé:

- Střecha, původně hambalkového typu krovu, se změnila při rekonstrukci na vaznicový typ, přičemž mansardový tvar střechy byl zachován, zvětšil se sklon střechy. Jako krytina zde byla nejprve použita břidlice, která později byla vyměněna za měděný plech.
- Klempířské prvky jsou provedeny z měděného plechu.
- Okna jsou kastlová.
- Nová dispozice je tvořena příčkami, pravděpodobně z plných pálených cihel.
- Došlo také k zazdění krbů a sopouchů - průběh komínových těles nejasný.
- Balkón byl vytvořen při rekonstrukci jako železobetonová deska uložená na originální kamenné barokní krakorce.
- Zajímavé je barokní schodiště trojúhelníkového půdorysu. Původní dřevěné (mohlo být vyrobeno i z kamene) bylo zničeno. Schodiště bylo při rekonstrukci v 50. letech přestavěno na železobetonové schodnicového typu s nadbetonovanými stupni pokryté linoleem.

- Nově byl osazen systém odvodnění střechy, necitlivě napojený na stávající konstrukce.
- Nově bylo zavedeno ústřední topení, rozvod vody, kanalizace a vzduchotechnika.
- Z důvodu využití zámku jako skladovacích prostor byl vsazen do objektu osobní i nákladní výtah.
- Povrch nádvoří byl při rekonstrukci pokryt železobetonovými panely. [15]

Současný stav s rozměry byl zaznamenán Stavebně – historickým průzkumem Antonína Grůzy a Lucie Augustinkové z roku 2001.

5.1 Stavebně technický průzkum trémového stropu nad 2. NP na zámku v Bílovci

Zkoumaný trémový strop nad 2. NP pocházející z 50. let minulého století odděluje 2. NP a půdní prostor. Případné nové využití zámku počítá s využitím podkrovní. Z tohoto důvodu je nutné provést stavebně technický průzkum této stropní konstrukce a zhodnotit její stav. Získané materiály budou sloužit pro následný návrh sanace stropní konstrukce.

Před provedením podrobného stavebně technického průzkumu vybraného funkčního dílu (trémového stropu) je nutné se nejprve seznámit s existující dokumentací, která se týká objektu. Z tohoto důvodu byly analyzovány následující podklady:

- Stavebně – historický průzkum A. Grůzy a L. Augustinkové z roku 2001;
- Stavební dokumentace z rekonstrukce z 50. let minulého století;
- Stavební dokumentace z navrhované rekonstrukce z 90. let minulého století.

Následným krokem bylo provedení předběžného průzkumu objektu se zaměřením na trémový strop nad 2. NP.

Předběžným průzkumem byly nalezeny tyto **vady a poruchy**:

- V podhledu je na dvou místech patrné zatékání vody.
 - Prvním případem je zatékání přes špatně provedený vnitřní svod, což spolu s rozpadajícím se komínem způsobuje kompletní degradaci stropních trámů (viz. obr. č. 28) a toto porušení je patrné i v podhledu (viz. obr. č. 27).
 - Druhým případem zatékání do konstrukce je špatně provedené oplechování římsy ve východní válcové věži (viz. obr. č. 29).
- Na nedostatečné ztužení objektu ve vodorovném směru poukazuje trhlinka v nepřístupném západním kamenném vřetenovém schodišti (viz. obr. č. 30).
- Dále byl u krovu nalezen povolený spoj vazného trámu krovu (a trhliny v podlaze, které po důsledném porovnání s dokumentací prokreslují přesně vnitřní příčky objektu (viz. obr. č. 31).



Obr. č. 27 Odpadnutí omítky



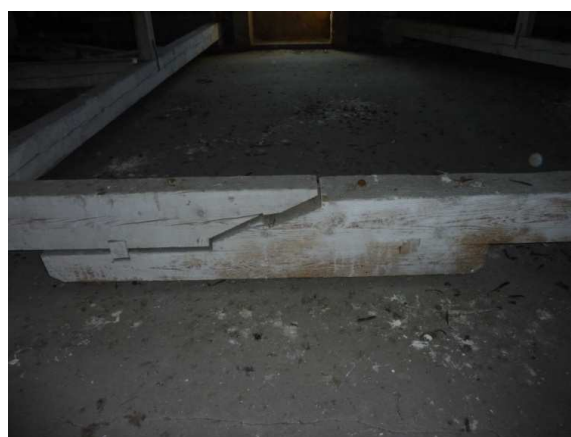
Obr.č. 28 Degradace stropní konstrukce



Obr. č. 29 Zatékání přes římsu



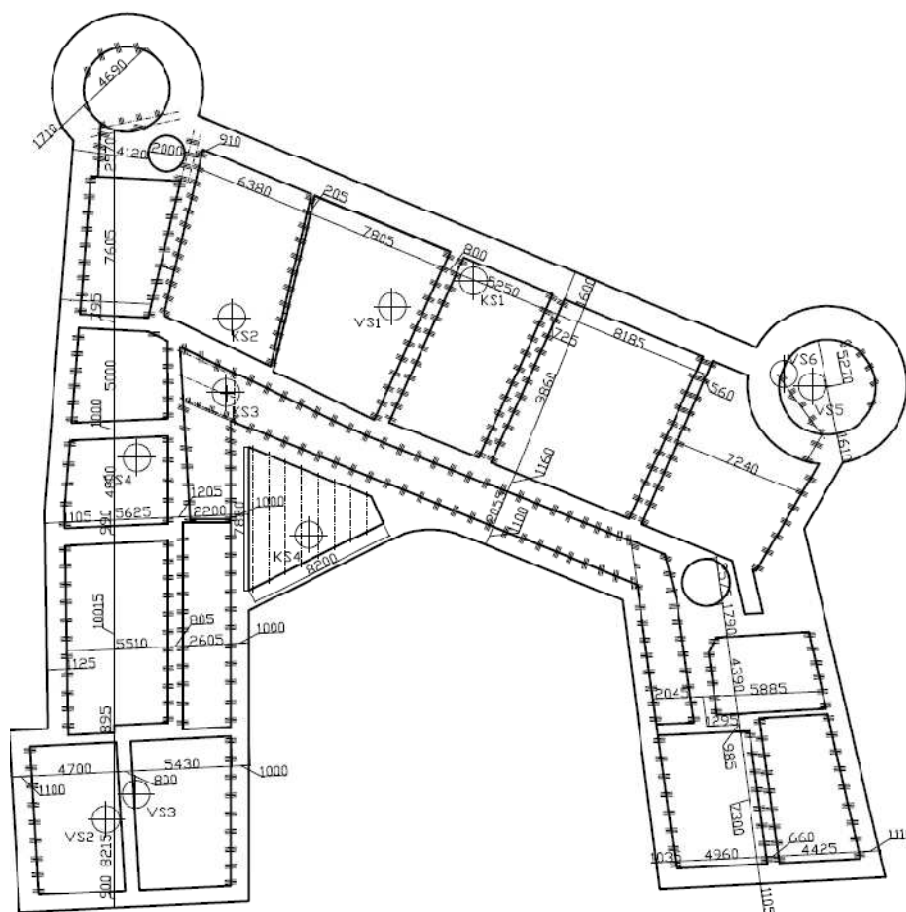
Obr.č. 30 Trhlina v tubu schodiště



Obr. č. 31 Povolení spoje s trhlinou v podlaze

V dalším kroku bylo navrženo spojení a umístění sond. Sondy byly umístěny podle zjištění z předběžného průzkumu, dostupné dokumentace a informací, jež chceme získat (skutečná podoba konstrukce, stav trámů, uložení atd.). Umístění sond jsem zvolila v kritických místech, kde jsou projevy zvýšené vlhkosti, poškození padající sutí z komínů trhliny, dále jsou provedeny v místech, kde není jistý směr uložení trámů nebo do částí s největším rozpětím. Návrh sondáže musí být odsouhlasen orgánem památkové péče. Schéma rozmístění sond vidíme na obr.č. 32, kde jsou označeny jak kopané sondy KS, tak vrtané sondy VS (podrobněji viz. výkres č. 3).

Kopané sondy poskytují celkové informace o konstrukci, je možné určit dimenze trámů a jejich stav, rozteče, rozpětí, kompletní skladbu podlahy, případně podhledu, ovšem zásah do konstrukce stropu je značný a počet těchto sond u historicky cenných konstrukcí je limitován. Vrtané sondy byly zřízeny pro provedení průzkumu pomocí optických přístrojů. Naproti tomu vrtané sondy jsou ke konstrukci šetrnější, informace, které je možné získat, jsou však omezené (výška a stav trámů, zhlaví, umístění podhledu, případně rozteče). Průzkum vrtaných sond byl prováděn boroskopem (viz. obr. č. 38), anebo videoskopem (viz. obr. č. 36), u něhož je možné provádět digitální záznam sondáže (viz. obr. č. 37).





*Obr. č. 35 Samostatná konstrukce podhledu
sonda VS 3*



*Obr.č. 36 Průzkum videoskopem – zhlaví a trhliny
sonda KS4*



*Obr. č. 37 Záběr z videoskopu – zhlaví
Sonda KS4*



*Obr.č. 38 Průzkum boroskopem
Sonda VS1*

Výsledky sondáže:

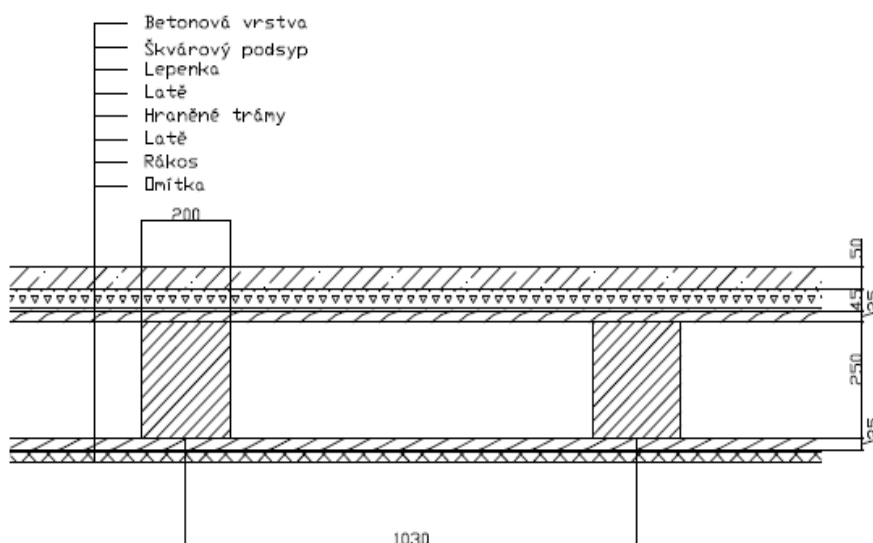
Stropní konstrukce je vyrobena z hraněných trámů nejčastěji s rozměry 200 x 250 mm, dále byly průzkumem zjištěny i trámy 130 x 150 mm (sonda KS3), nejvyšší trám měřil na výšku 335 mm (sonda VS1). Podhled (tvořený latěmi, rákosem a vápenocementovou omítkou) byl nejčastěji proveden přímo na trámy, v západním křídle byl upevněn na samostatnou konstrukci přibližně 1400 mm pod úroveň podlahy (viz. obr. č. 35). Záklop je tvořen latěmi tloušťky 2 až 2,5 cm, lepenkou (pískovanou i nepískovanou), škvárovým podsypem proměnné tloušťky od 20 do 80 mm a poté vrstvou betonu o výšce 50 až 100 mm.

V západní válcové věži bylo zjištěno poškození zhlaví vlivem plísně nebo hniloby, degradované vlivem působící vlhkosti je také napojení trámů u chodby. Při průzkumu byla dále nalezena průběžná trhлина trámů způsobená pravděpodobně smykovým namáháním. U přířezů nalezených v půdním prostoru byly objeveny výletové otvory tesařika krovového (viz. obr. č. 33). Z hlediska makroskopického rozboru byla použitá dřevina určena jako smrk, nebo jedle. Může se také jednat o konstrukci zhotovenou z obou dřevin.

Popis výsledků sondáže je výhodné zpracovat do přehledné tabulky (viz. tabulka č. 9), v níž jsou popsány dimenze trámů, rozteče, tloušťky a skladba vrstev podlahy a podhledu, umístění konstrukce podhledu a v poznámkách stav trámů případně jiné nálezy. Podrobněji zpracovaný popis sond najdeme v přílohách č. 2 až č. 10. Podle průzkumu odhadujeme, že ve většině místností lze podobu trámového stropu vyjádřit jako schéma na obr. č. 39 (kopaná sonda č. 2).

	KS1	KS2	KS3	KS4	VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6
Výška trámů [mm]	270	250	150	270	335	250	250	250	280	280
Šířka trámů [mm]	230	200	130	140		200	200	200		
Osová vzdálenost [mm]	1050	1030	1120	890			970	1070		
Betonová podlaha [mm]	70 až 100	50		50	80			15+50		
Škvárový podsyp [mm]	50 až 80	40		25	40			20		
Lepenka	Pískov.	Nepískov			Pískov.			Nepískov		
Latě [mm]	25			20						
Umístění podhledu	Na trámech	Na trámech	Na trámech	Na trámech	Na trámech	Samost. kce, latě 1450 mm od úrovně podlahy	Samost. kce, latě 1450 mm od úrovně podlahy	Samost. kce, latě 1400 mm od záklopu	Na trámech	Na trámech
Pozn.			Degrad. dřeva	Trhлина v trámu						Plíseň nebo hniloba zhlaví

Tabulka č. 9 Popis provedených sond



Obr. č. 39 Schéma trámového stropu – sonda KS2

Na trámech v jednotlivých sondách bylo taktéž provedeno měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem (dle ČSN EN 13183-2). Z míst se zvýšenou vlhkostí je možné určit způsoby dotace vody do zkoumané konstrukce (průměrná vlhkost dřeva 12,2%). Dále byla použita zkouška pomocí kladívka pilodyn, z jehož výsledných hodnot proniknutí hrotu do dřeva bylo možné stanovit objemovou hmotnost dřeva při vlhkosti 12% (v průměru 370 kg.m⁻³), a následně také určit jeho pevnost v tahu za ohybu (průměrná hodnota 22,2 MPa) a statický modul pružnosti (v průměru 6,3 GPa) podle vztahů: [32]

$$\Delta w = w - 12 \quad (3)$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \cdot \Delta w) \quad (4)$$

$$\rho_{12} = -0,27102 \cdot t_{p,12} + 0,727987 \quad (5)$$

$$f_m = -36,13 + 0,156743 \cdot \rho_{12} \quad (6)$$

$$E_{stat} = -14441,49 + 55,7834 \cdot \rho_{12} \quad [32] \quad (7)$$

, kde w je vlhkost dřeva stanovená odporovou metodou [%];

Δw je rozdíl změřené vlhkosti od vlhkost 12 %, může nabývat záporných hodnot [%];

t_p je hloubka penetrace kladivem pilodyn [mm];

$t_{p,12}$ je hloubka penetrace kladivem pilodyn při 12 % vlhkosti [mm];

ρ_{12} je hustota dřeva při 12 % vlhkosti [kg.m⁻³];

f_m pevnost v tahu za ohybu při 12 % vlhkosti [MPa];

E_{stat} statický modul pružnosti při 12 % vlhkosti [MPa].

U zcela zdevastovaných částí (vlivem vlhkosti a biodegradace) nebylo možné provést zkoušku kladivem pilodyn, a tím určit příslušné materiálové charakteristiky, také proto při rekonstrukci předpokládáme jejich plnou výměnu.

Sonda	Měření	Vlhkost w [%]	Pilodyn t_p [mm]	Průměrná vlhkost w [%]	Průměrný pilodyn t_p [mm]	Δw [%]	$t_{p,12}$ [mm]	ρ_{12} [kg*m ⁻³]	Poznámka	f [MPa]	E _{stat} [MPa]
KS1	Střední	11,7	13	11,3	12,5	-0,7	12,6	390		24,6	7173
KS1	Střední	10,9	11								
KS1	Střední	11,2	13,5								
KS1	Krajní	12,3	17	12,2	16,7	0,2	16,7	280	Nižší pevnost trámů	7,3	1000
KS1	Krajní	12	16								
KS1	Krajní	12,2	17								
VS1		10,9	10,5	11,2	11,2	-0,8	11,2	420		30,3	9187
VS1		11,9	11								
VS1		10,7	12								
KS2	U komínu	12,7	29	12,9	34,7	0,9	34,5	-210	Degradace vlivem předchozího zatékání		
KS2	U komínu	12,9	35								
KS2	U komínu	13	40								
KS2	Střední	13,3	12	14,3	13,3	2,3	13,1	370		22,2	6330
KS2	Střední	14,5	13								
KS2	Střední	15	15								
KS3		13,1	20	12,1	22,3	0,1	22,3	123	Degradace vlivem předchozího zatékání		
KS3		11,4	19								
KS3		11,8	28								
KS4		12	12	11,4	12	-0,6	12,1	400		26,8	7946
KS4		11,4	14								
KS4		10,7	10								
Průměr		12,2						370		22,2	6327

Tabulka č. 10 Vlhkost a měření pilodyn v přístupných sondách s odvozením vlastností dřeva

Analýza stropní konstrukce

Analyzujeme – li stropní konstrukci, ze statického hlediska se jedná o prostě podepřené nosníky, které jsou namáhány pouze osově svislým zatížením (užitné zatížení, hmotnost podlahy, podhledu, vlastní váha trámu). Posouzení stropní konstrukce bylo provedeno jako pro konstrukci, která je namáhána prostým ohybem bez vlivu klopení.

Při výpočtu je nutné použít materiálové charakteristiky získané podrobným průzkumem, pokud je dřevo již zcela degradované lze do výpočtu zahrnout také fakt, že dojde k jeho úplné nebo částečné výměně. V sondě KS2 můžeme uvažovat s parametry dřeva spadající do třídy C22 (normová pevnost vláken v tahu za ohybu je $f_{m,k} = 22$ MPa), naproti tomu u sondy KS4 je možno dokonce počítat s vyšší hodnotou pevnosti ($f_{m,k} = 24$ MPa) a třídou C24.

Pro výpočet byla použita skladba konstrukce stropu (shora):

- betonová podlaha tl. 50 mm;
- škvárový podsypem 25 – 40 mm;
- záklop tl. 25 mm;
- nosný trám;
- podbití s rákosovou omítkou.

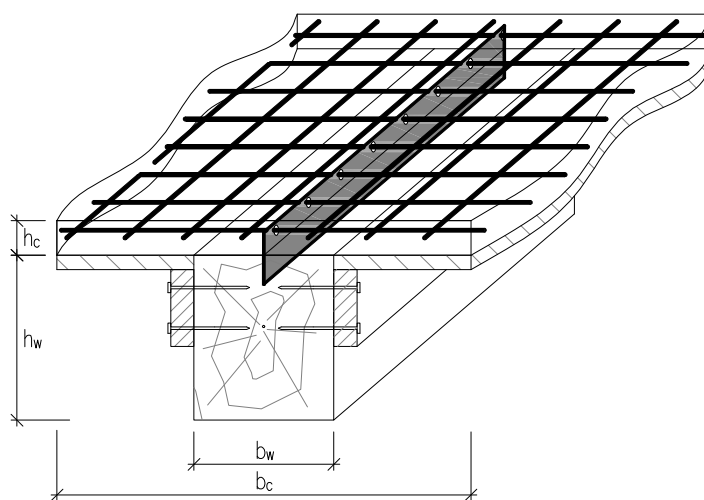
Pro posouzení stávající konstrukce bylo počítáno s charakteristickou hodnotou užitného zatížení v půdních prostorách $0,75 \text{ kN/m}^2$, při návrhu nového využití se uvažuje s charakteristickou hodnotou nahodilé složky zatížení $2,0 \text{ kN/m}^2$ (administrativa, bydlení, apod.). [30]

Při změně užívání stávajících objektů je nutné od března 2010 posoudit nosné konstrukce dle platných Eurokódů, v našem případě se jedná o posouzení dřevěných stropních trámů. V poli, charakterizovaném sondou KS2, vyhověl nosník (rozpětí 6,6 m) na stávající zatížení. U pole, popsaném sondou KS4, z hlediska únosnosti nosník nevyhověl ani na stávající stav zatížení. Při uvažování zvětšených hodnot užitného (změna užívání), stávající stropní konstrukce nevyhoví na 1. mezní stav (mezní stav únosnosti) - viz. příloha č. 11. [30]

5.2 Návrh sanace trémového stropu na zámku v Bílovci

Jelikož u tohoto objektu nebyla zjištěna žádná forma ztužení ve vodorovném směru a z analýzy konstrukce vyplývá i nedostatečná únosnost, je vhodné celkovou tuhost a únosnost konstrukce zvýšit. Jednou z možných technologií je spřažení stávajících dřevěných stropnic s železobetonovou deskou. Pro spřažení je možno použít vlepaných ocelových lišt, které provázáním pomocí betonářské výztuže zajišťují tuhé spřažení dřevěného trámu se subtilní železobetonovou deskou. Variantně je možné použít poddajné spřažení pomocí vrutů.

Pro stropní konstrukci je navrženo spřažení původních dřevěných trámů (vyměněny jen silně degradované části) s železobetonovou deskou o jednotné tloušťce 80 mm. Ke spřažení je navrženo použití ocelových vlepaných lišt tloušťky 4 mm, které budou perforovány pro provázání s betonářskou výztuží (viz obr. 40).



Obr.40 Schéma spřažené dřevobetonové konstrukce [30]

Z výsledků analýzy navrhované konstrukční sanace vyplývá, že po realizaci sanace spřažením stávajících dřevěných stropnic s železobetonovou deskou, dojde ke vzniku téměř dvojnásobné rezervy, což by znamenalo, že půdní prostor lze v budoucnu velice variabilně užívat (viz. příloha č. 11). V poli prozkoumaném sondou KS4 je rezerva menší (cca 50%). Kromě tohoto efektu dojde navíc ke ztužení celého objektu a omezení kmitání a průhybu konstrukce. [30]

Experimentální ověření účinnosti spřažení zjišťujeme pomocí smykové zkoušky v souladu s normou ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.

Ověřeny byly oba typy spřažení:

- Poddajné pomocí vrutů;
- Nepoddajné pomocí lišty s dvěma variantami použitého lepidla:
 - PURBOND - jednosložkové PUR typu I dle EN 301 (technický list viz. příloha č. 14);
 - SOUDAL typ 66A – vodostálé – jednosložkové PUR (technický list viz. příloha č. 15).

Při průzkumu byly identifikovány přřezy s již neaktivními výletovými otvory tesařika krovového a dále byly v některých sondách zjištěny plísňe a houby. Je nutné nejdříve zabránit pronikání zvýšené vlhkosti do konstrukce a před započítím sanace provést opravy oplechování, svodů vody a osazení výplně do komínového výlezu.

Dále je nutné provést ochranu dřeva pomocí chemického ošetření. Tato ochrana se volí v případech, kdy je přirozená trvanlivost dřeva nedostatečná vzhledem k třídě prostředí. Dřevěná konstrukce je zařazená do třídy ohrožení 2, dle ČSN EN 335 – 2 se jedná o konstrukci zastřešenou, bez stálého kontaktu se zemí a vlhkost dřeva jen výjimečně překročí 20%. Použitá dřevina byla určena jako smrk (jedle), jež je málo trvanlivá i v 2. třídě ohrožení. Jelikož byl zjištěn výskyt dřevokazného hmyzu, hub a plísňí, je nutno aplikovat chemický ochranný prostředek s kombinovaným účinkem. Pro chemickou sanaci je navrženo použití přípravku Bochemit Forte, který lze aplikovat nátěrem, máčením, vakuovou impregnací a případně i injektáží (technický list viz. příloha č. 18).

5.3 Experimentální ověření konstrukční sanace

Součástí jednotlivých návrhů konstrukční sanace by mělo být i jejich experimentální ověření. Pro návrh stahovacího prostředku je v případě spřažení dřeva a betonu nutné ověřit zejména dostatečnou smykovou únosnost použitého spoje. U těchto zkoušek zjišťujeme kromě faktorů únosnosti i přetvárné vlastnosti spoje. Ověření smykové únosnosti bylo provedeno dle ČSN EN 26891: Dřevěné konstrukce – Spoje s mechanickými spojovacími prostředky – Všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření.

5.3.1 Smyková zkouška spřažení

Při provádění smykové zkoušky různých typů spřažení, tedy vrutů i lišt, je doporučeno postupovat dle normy ČSN EN 26891: Dřevěné konstrukce – Spoje s mechanickými spojovacími prostředky – Všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření. Tento zkušební postup lze použít pro spojovací prostředky ve staticky zatěžovaných konstrukcích.

Před provedením zkoušky je nutné určit vlhkost vzorků elektrickým odporovým vlhkoměrem podle normy ČSN EN 13183-2, rozměry tělesa a dále přepočtem ze zkoušení kladivem pilodyn objemovou hmotnost (u menších vzorů možné stanovení objemové hmotnosti váhově dle ČSN EN 408). Dále je nutné určitým způsobem charakterizovat použitý beton, především pevnost v tlaku (dle normy ČSN EN 12390-3), případně pevnost v tahu ohybem (dle ČSN EN 12390-5). Konzistenci betonu je možné zjistit metodou rozlití kužele dle ČSN EN 12350-5. K provedení zkoušky je kromě přístrojů pro přípravu vzorku (délková měřidla, odporový vlhkoměr, pilodyn atd.) zapotřebí i zkušební stroj, který umožní zatěžování vzorků s následným odečtem působící síly a dále přístroje umožňující měření posunutí ve zkoušeném spoji. [11]

Před zahájením měření se odhadne maximální zatížení F_{est} . Síla při porušení F_{max} by se neměla od této hodnoty lišit o více než 20%.

Vzorek se umístí do lisu tak, aby spřahovací prostředek byl namáhán pouze smykem. Následně se zatěžuje vzorek rychlostí $0,2F_{est}$ za minutu $\pm 20\%$ do hodnoty zatížení $0,4 F_{est}$.

Obrázek 1 — Postup zatěžování

Obrázek 2 — Idealizovaný diagram zatížení-posunutí a měřené hodnoty

V jednotlivých přírůstcích 0,1Fest měříme vzájemná posunutí (v_{01} , v_{02} , v_{03} , v_{04} ...), která zaznamenáme do diagramu zatížení a posunutí. Následně z tohoto měření určíme hlavní charakteristiky, jako je maximální zatížení F_{\max} [kN], maximální odhadované zatížení F_{est} [kN], počáteční posunutí v_i [mm] a modifikované počáteční posunutí $v_{i,\text{mod}}$ [mm], trvalé počáteční posunutí v_s [mm], pružné posunutí v_e [mm], počáteční modul posunutí k_i [kN/mm], modul posunutí k_s [kN/mm], posunutí při 0,6 F_{\max} $v_{0,6}$ [mm], modifikované posunutí při 0,6 F_{\max} $v_{0,6, \text{mod}}$ [mm], posunutí při 0,8 F_{\max} $v_{0,8}$ [mm], modifikované posunutí při 0,8 F_{\max} $v_{0,8}$ [mm] dle vzorců [11]:

$$v_i = v_{04} \quad (10)$$

$$v_{i,\text{mod}} = \frac{4}{3} \cdot (v_{04} - v_{01}) \quad (11)$$

$$v_s = v_i - v_{i,\text{mod}} \quad (12)$$

$$v_e = \frac{2}{3} \cdot (v_{14} + v_{24} - v_{11} - v_{21}) \quad (13)$$

$$k_i = 0,4 \cdot \frac{F_{\text{est}}}{v_i} \quad (14)$$

$$k_s = 0,4 \cdot \frac{F_{\text{est}}}{v_{i,\text{mod}}} \quad (15)$$

$$v_{0,6,\text{mod}} = v_{0,6} - v_{24} + v_{i,\text{mod}} \quad (16)$$

$$v_{0,8,\text{mod}} = v_{0,8} - v_{24} + v_{i,\text{mod}} \quad (17)$$

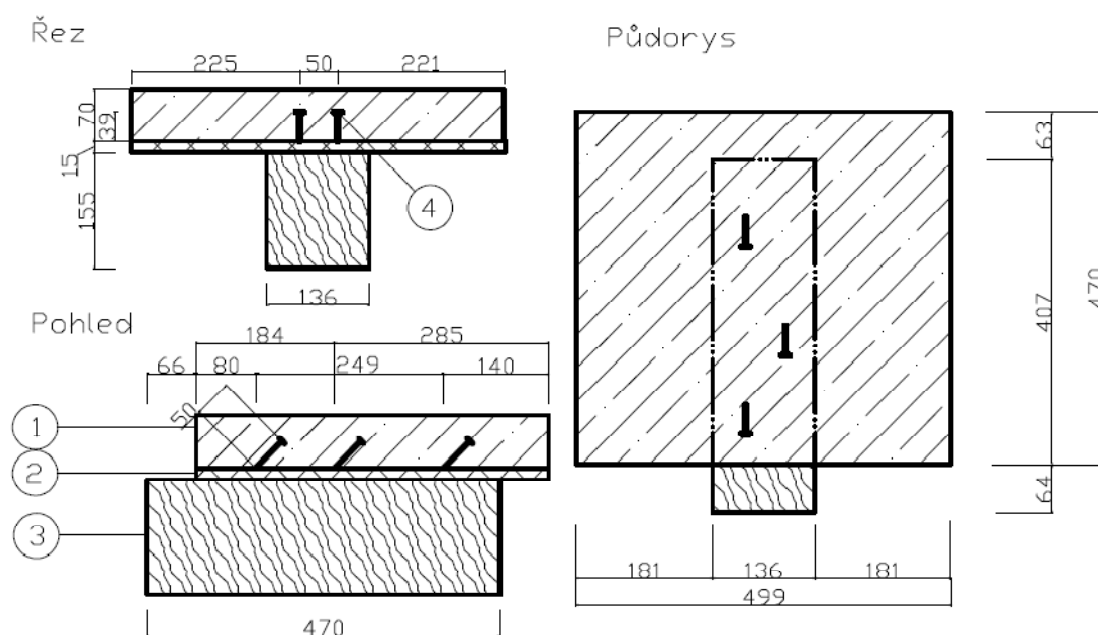
Vyhodnocením zkoušky je uvedení těchto jednotlivých výsledků a vyhotovení celého diagramu zatížení a posunutí. Jestliže se síla F_{max} u všech vzorků lišila od síly F_{est} o více než 20%, je nutné předpokládanou sílu F_{est} korigovat a zkoušku opakovat.

5.3.2 Zkoušení vrutů

Spřažení pomocí vrutů je běžně ověřováno na stropních konstrukčních dílech s rozpětím větším než 4 m. Z důvodu omezených možností v laboratoři byl vyzkoušen pouze jeden vzorek pro ověření funkčnosti přídatného zařízení zkušebního přístroje.

Pro výrobu vzorku (rozměry viz. obr. č. 36) bylo použito:

- modřínové dřevo s průřezem 136 x 155 mm;
- OSB deska tloušťky 15 mm;
- Vruty F-TEC Mauershrauben 12,5 x 160;
- Samozhutnitelný beton C25/30 vyztužený ocelovou sítí.



1 – železobetonová deska, 2 – OSB deska, 3 – modřínová stropnice, 4 – vruty

Obr. č. 42 Schéma vzorku při zkoušení vrutů

Před měřením byly nejprve stanoveny vlastnosti použitého dřeva pomocí odporového vlhkoměru a kladívka pilodyn (viz. tab. č. 10), z kterých se následně určí objemová hmotnost dřeva při 12% vlhkosti, pevnost v tahu za ohybu a statický modul pružnosti dle vzorců 3 až 6.

	1	2	3	4	5	Průměr
Vlhkost [%]	11,5	11,2	10,8	10,8	12	11,26
Pilodyn [mm]	13	12	14	11	12	12,4

Tabulka č. 11 Vlhkost a měření pilodyn dřevěného vzorku s vruty

$$\Delta w = w - 12 = -0,74\%$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \cdot \Delta w) = 12,46423 \text{ mm}$$

$$\rho_{12} = -0,27102 \cdot t_{p,12} + 0,727987 = 389,953 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$f_m = -36,13 + 0,156743 \cdot \rho_{12} = 24,99303 \text{ MPa} \quad [32]$$

Pro betonáž je nutné zvolit samozhutnitelný beton, jelikož při provádění betonové desky u stávajících konstrukcí je téměř nemožné použít jakoukoliv formu hutnění. Z použitého samozhutnitelného betonu C 25/30 XA2 vyrobíme 3 tělesa – krychle.

Použitá receptura samozhutnitelného betonu C25/30 – 25 litrů:

- Kamenivo: 0 – 4 Tovačov, 18,45kg
4 – 8 Tovačov, 18,25 kg
- Cement – 42.5 1R Hranice, 9 kg
- Příměs – vápenec Štramberk, 5,7 kg
- Voda – 4,925 kg
- Plastifikátor – Glenium 110, 107,5 g

U těchto těles po 28 dnech zrání betonu změříme pevnost v tlaku f_c a objemovou hmotnost betonu ρ (viz. tabulka č. 11).

$$\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot c} \quad (18)$$

$$f_c = \frac{F}{a \cdot c} \quad [24] \quad (19)$$

	m [kg]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	F [kN]	f_c [Mpa]
28KT1	7,718	150,17	150,47	152,14	2250	1480,75	64,8
28KT2	7,693	150,72	150,4	150,91	2250	1474,32	64,8
28KT3	7,662	149,79	150,59	150,43	2260	1394,67	61,9
					2250		63,8

Tabulka č. 12 Rozměry, objemová hmotnost a pevnost betonu v tlaku u vzorku s vruty

Po 28 dnech zrání betonu se těleso usadí do lisu (viz. obr. č. 44), osadí se úchylkoměry (viz. obr. č. 43) k měření vzájemného posunu mezi železobetonovou deskou a dřevěnou stropnicí. Vzorek je zatěžován dle uvedeného postupu (viz. kapitola 5.3.1). U tohoto typu spřažení byla odhadnuta maximální síla $F_{est} = 50$ kN, volí se tedy rychlost zatěžování 10 kN/min. s výdrží 30s ve 20 kN a 5 kN. Porušení vzorku nastalo při síle $F_{max} 75,65$ kN (vlhkosti 11,3%, objemové hmotnosti při vlhkosti 12% 390 kg.m⁻³ a průměrném posunu vrstev 2,775 mm) a k porušení vzorku došlo ve spojovacích prvcích (viz. obr. č. 45). I když byla zkouška neplatná, spřahovací prvky vykazovaly uspokojivou únosnost (viz. příloha č. 14).



Obr. č. 43 Osazení úchylkoměrů

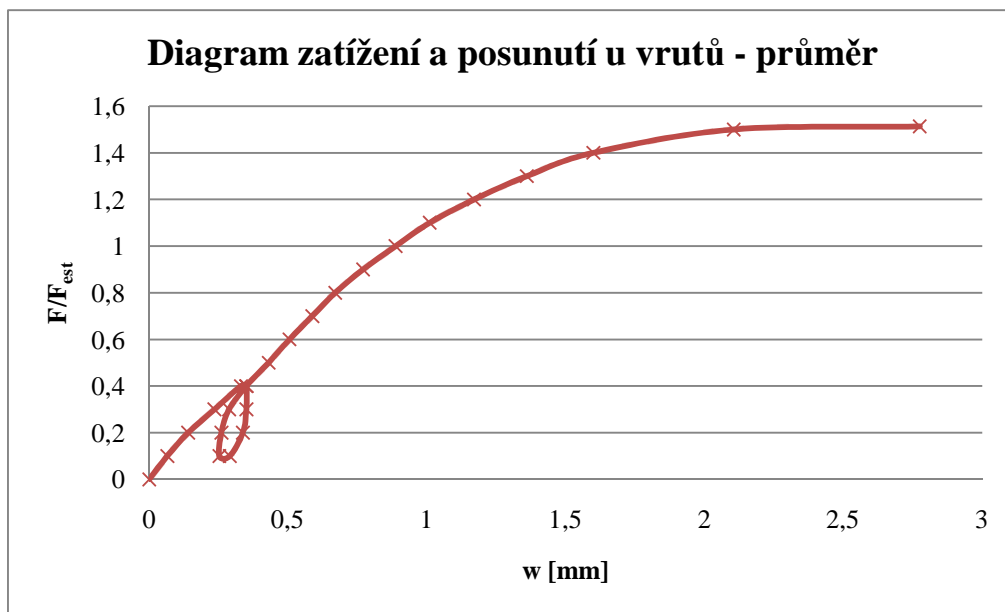


Obr.č. 44 Usazení tělesa v lisu



Obr. č. 45 Porušení vrutů

Nedílnou část výsledků také tvoří také diagram zatížení a posunutí. Diagram je vytvářen z průměrných hodnot měření vzájemného posunutí na obou stranách části trámů, jež je znázorněn na obrázku č. 46.



Obr. č. 46 Diagram zatížení a posunutí vrutů

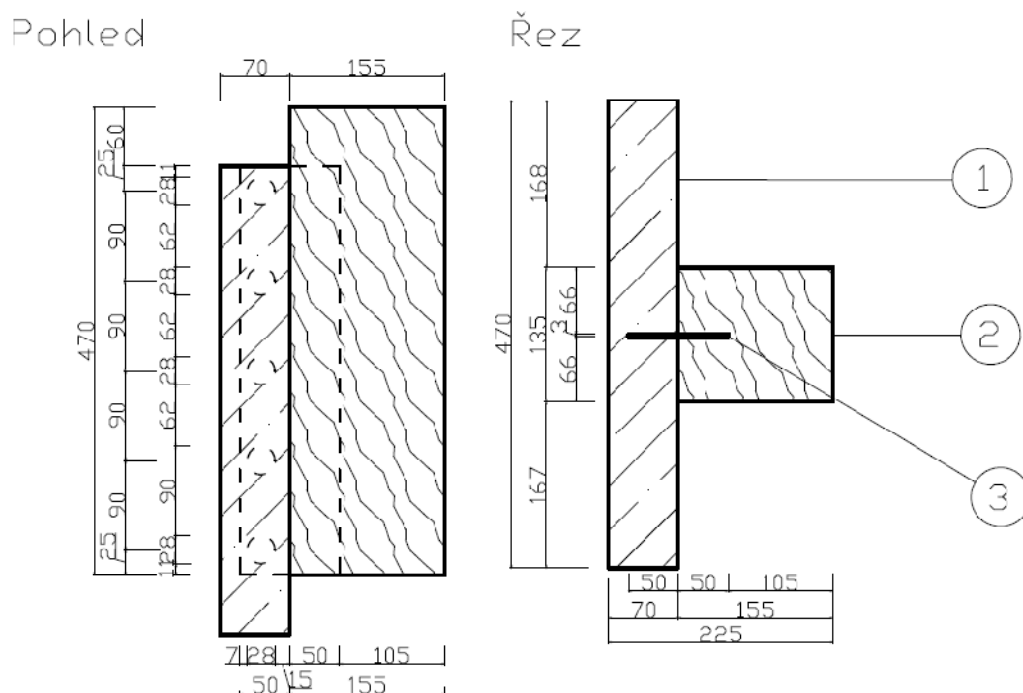
5.3.3 Zkoušení lišty

Ke zkoušce spřažení pomocí vlepuvané ocelové lišty byly v první sérii vyhotoveny 3 vzorky s rozměry viz. obr. č. 47.

Pro výrobu vzorku bylo použito:

- modřínové dřevo s průřezem 135 x 155 mm;
- perforovaná ocelová lišta tl. 3 mm z oceli 11375 (dle ČSN 42 0002);
- lepidlo PURBOND (jednosložkové PUR typu I dle EN 301);
- EASYCRETE C 30/37 F vyztužený ocelovými pruty Ø 12 mm.

Cílem této zkoušky je určení smykové únosnost na odebraném vzorku podle postupu uvedeného v normě ČSN EN 26891.



1 – železobetonová deska, 2 – modřínová stropnice, 3 – perforovaná lišta

Obr. č. 47 Schéma vzorku s lištou

Parametry dřeva: Byly vypočteny dle vzorců 3 až 6.

	w ₁ [%]	w ₂ [%]	w ₃ [%]	w [%]	t _{p1} [%]	t _{p2} [%]	t _{p3} [%]	t _p [%]
SL1	9,8	9,5	9,4	9,6	12	11	11	11,3
SL2	12,9	14,3	14,6	13,9	14	14	15	14,3
SL3	15,9	13,7	14,3	14,6	15	11	13	13

Tabulka č. 13 Vlhkost a měření pilodyn dřevěného vzorku s lištou

w₁, w₂, w₃ ... jednotlivá měření vlhkosti vzorku

w ... průměrná vlhkost vzorku

t_{p1}, t_{p2}, t_{p3} ... hodnoty hloubky vpichu kladívka PILODYN

t_p ... průměrná hloubka vpichu kladívka PILODYN

Δw ... rozdíl průměrné vlhkosti od vlhkosti 12%

t_{p,12} ... hloubky vpichu kladívka pilodyn při vlhkosti 12%

ρ₁₂ ... objemová hmotnost dřeva při vlhkosti 12%

f ... pevnost v tahu za ohybu dřeva při vlhkosti 12% [32]

	Δw [%]	$t_{p,12}$ [mm]	ρ_{12} [kg.m ⁻³]	f [Mpa]
SL1	-2,4	11,5	420	29,0
SL2	1,9	14,1	350	17,9
SL3	2,6	12,8	380	23,7
Průměr			380	23,5

Tabulka č. 14 Vypočtené hodnoty objemové hmotnosti a ohybové pevnosti použitého dřeva

Parametry betonu:

Použitá receptura EASYCRETE C30/37 F – 1 m³:

- Kamenivo: 0 – 4 Tovačov, 925 kg
4 – 8 Tovačov, 155 kg
8 – 16 Hrabůvka, 610 kg
- Cement – 42.5 1R Hranice, 370 kg
- Příměs – popílek Dětmárovice, 80 kg
- Voda – 190 kg
- Plastifikátor – Glenium 110, 3,7 kg
- Rheometrix 100, 0,7 kg

Z připravené betonové směsi EASYCRETE C 30/37 bylo vyrobeno 5 vzorků, 3 krychle pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku a 2 trámce pro zkoušku pevnosti betonu v tahu za ohybu. Výpočet byl proveden podle vzorce 18 a 19.

	m [kg]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	ρ [kg.m ⁻³]	F [kN]	f_c [Mpa]
28KS1	7,806	149,45	150,4	149,55	2320	1008,78	45,1
28KS2	7,7965	149,45	149,75	149,97	2320	999,357	44,6
28KS3	7,8495	149,5	149,94	149,62	2340	1021,07	45,6
					2330		45,1

Tabulka č. 15 Rozměry, objemová hmotnost a pevnost betonu v tlaku u vzorku s lištou

m ... hmotnost tělesa;

a, b, c ... rozměry tělesa;

ρ ... objemová hmotnost betonu;

F ... síla při porušení betonu;

f_c ... pevnost betonu tlaku.

U tohoto betonu byla zkoušena pevnost v tahu za ohybu f_{cf} vypočtená podle vzorce:

$$f_{cf} = \frac{F \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot d_2} [24] \quad (20)$$

, kde F je působící síla [kN];

l je vzdálenost podpor – 300 mm;

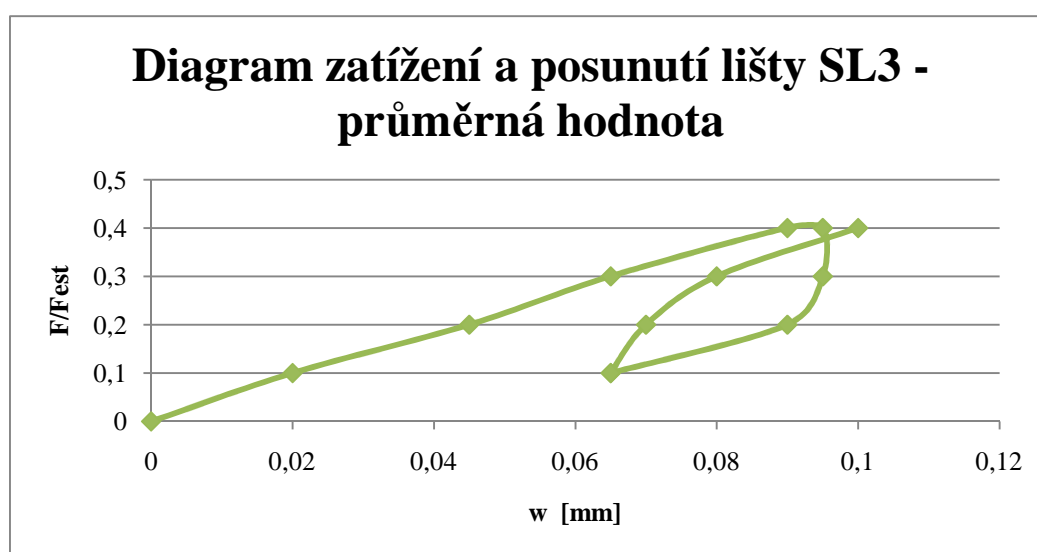
d_1 je výška tělesa v lisu [mm];

d_2 je šířka tělesa v lisu [mm].

	d_2 [mm]	d_1 [mm]	l [mm]	F [kN]	f_{cf} [MPa]
28TS1	99,05	101,33	300	20,31	6,1
28TS2	100,53	100,76	300	21,28	6,3
Průměr					6,2

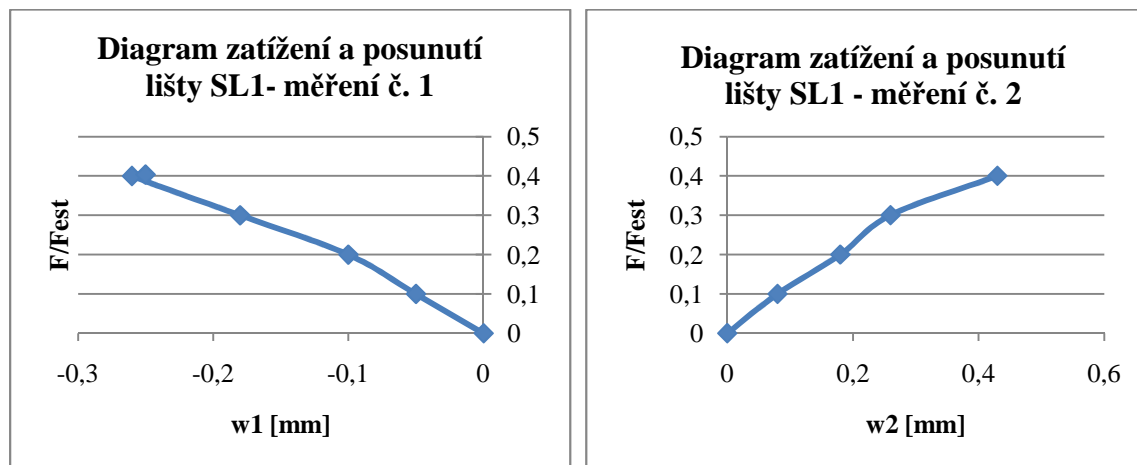
Tabulka č. 16 Pevnost v tahu za ohybu použitého betonu

U tohoto typu spřažení byla odhadnuta maximální síla $F_{est} = 100$ kN, tedy se volí rychlost zatěžování 20 kN/min. s výdrží 30 s ve 40 kN a 10 kN. Při měření v první sérii, u vzorku SL1 a SL2, došlo k porušení lepeného spoje již při první fázi zatěžování (SL1 $F_{max} = 40,37$ kN, SL2 $F_{max} = 15,68$ kN). Vzorek SL3 byl zatížen, odlehčen a opět zatížen dle normového návodu, maximální únosnost spoje byla naměřena pouze 45,62 kN (vlhkost 14,6 %, objemová hmotnost $\rho_{12} 380 \text{ kg.m}^{-3}$). Diagram posunů a zatěžování je vykreslen na obrázku č. 48.



Obr. č. 48 Diagram zatížení a posunutí lišty SL3

Při zatěžování docházelo ke kroucení vzorku a deformace se na stranách trámu znaménkově lišila, což je vidět na obrázcích č. 49 a č. 50. Příčinou tohoto efektu mohou být tlačné plochy, které nejsou rovinné (viz. obr. č. 51).



Obr. č. 49 a č. 50 Diagramy zatížení a posunutí lišty SL1



Obr. č. 51 Deformované tlačné plochy

Nízké hodnoty únosnosti byly způsobeny nevhodnou technologií provádění lepeného spoje. Ocelová lišta nebyla před lepením upravena a dřevo nebylo před prováděním lepeného spoje navlhčeno. Jak se ukázalo při tomto experimentu, má tato skutečnost vliv na celkovou únosnost spřažení. Po ukončení experimentu bylo provedeno odkrytí lepeného spoje a vytažení lišty z drážky (viz. obr. č. 52). Po rozlomení dřeva byla cítit silná pryskyřičná vůně a v místech, kde se pryskyřice dostala až k lepenému spoji kov – dřevo, nedošlo k adhezi lepidla na lištu (viz. obr. č. 53).



Obr. č. 52 Lišta po provedení zkoušky



Obr. č. 53 Pryskyřice v drážce pro lištu

V druhé etapě zkoušení byla změněna technologie lepení. Lišty byly upraveny odmaštěním technickým benzínem a spára i lišta byly před lepením vlhčeny. Po aplikaci lepidla na dřevo SOUDAL 66A byl lepený spoj následně stáhnut tesařskými svorkami. Ostatní materiály se neliší od první fáze zkoušení spřažení lištou.

Pro výrobu vzorku (rozměry viz. obr. č. 47) bylo použito:

- modřínové dřevo s průřezem 135 x 155 mm;
- perforovaná ocelová lišta tl. 3 mm z oceli 11375 (dle ČSN 42 0002);
- lepidlo SOUDAL 66A (jednosložkové PUR);
- EASYCRETE C 30/37 F vyztužený ocelovými pruty Ø 12 mm.

Postup zatěžování vzorků v lise byl stejný jako v předchozí etapě s odhadovanou $F_{\text{est}} = 100 \text{ kN}$ a vzorky byly zatěžovány až do porušení. Výsledky v této části již odpovídaly odhadu, kde u vzorku SL2 byla $F_{\text{max}} = 113,54 \text{ kN}$ (při vlhkosti dřeva 13,9 % a objemové hmotnosti $\rho_{12} 350 \text{ kg.m}^{-3}$) a posunutím $w = 1,06 \text{ mm}$ Pro vzorek SL3 byla naměřena $F_{\text{max}} = 121,81 \text{ kN}$ (při vlhkosti dřeva 14,6 % a objemové hmotnosti $\rho_{12} 380 \text{ kg.m}^{-3}$) a průměrným posunutím betonu $w = 0,645 \text{ mm}$.

Z naměřených veličin se dle normy ČSN EN 26891 vypočtou charakteristiky spoje:

	SL2	SL3
Počáteční posunutí v_i [mm]	0,08	0,04
Modifikované počáteční posunutí $v_{i,mod}$ [mm]	0,087	0,04
Trvalé počáteční posunutí v_s [mm]	-0,007	0
Pružné posunutí v_e [mm]	0,053	0,032
Počáteční modul posunutí k_i [kN/mm]	500	1000
Modul posunutí k_s [kN/mm]	461,539	1000
Odhadované zatížení F_{est} [kN]	100	100
Posunutí při 0,6 F_{max} $v_{0,6}$ [mm]	0,151	0,135
Modifikované posunutí při 0,6 F_{max} $v_{0,6}$ [mm]	0,148	0,125
Posunutí při 0,8 F_{max} $v_{0,8}$ [mm]	0,249	0,305
Modifikované posunutí při 0,8 F_{max} $v_{0,8}$ [mm]	0,246	0,295
Maximální zatížení F_{max} [kN]	113,54	121,81
Deformace spoje při porušení w [mm]	1,06	0,645

Tabulka č. 17 Charakteristiky spojů pomocí lišty

Při zkoušení došlo k porušení vzorků ve dřevě (viz. obr. č. 54). U vzorku SL2 navíc došlo k rozvoji stávajících trhlin dřevěného vzorku (viz. obr. č. 55), což způsobilo i větší vzájemné posunutí mezi dřevěnou částí a železobetonovou deskou.

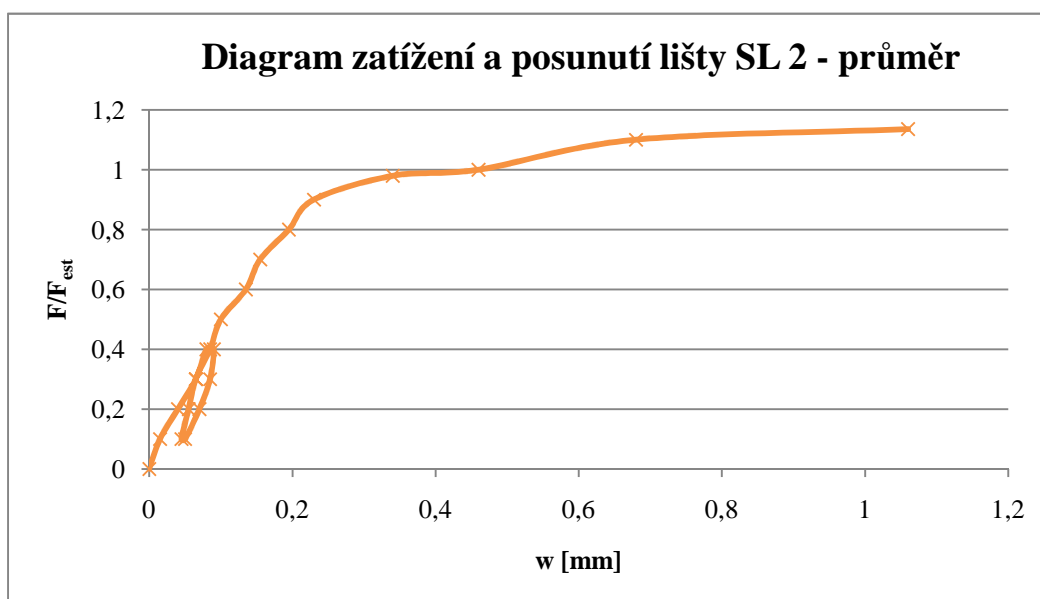


Obr. č. 54 Porušení lepeného spoje

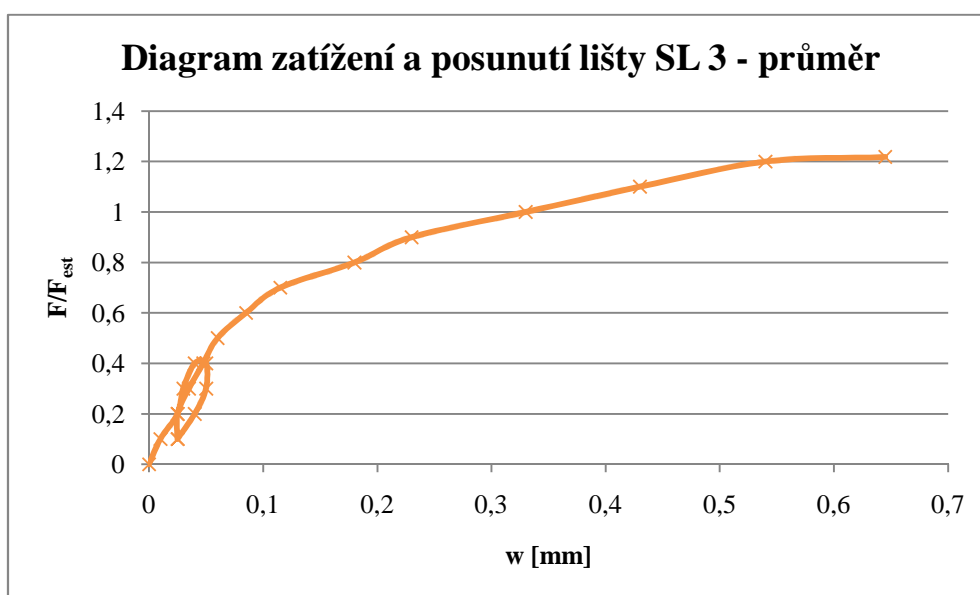


Obr. č. 55 Rozvoj trhlin vzorku SL2

Výsledky jsou zpracovány formou diagramů zatížení a průměrných hodnot posunutí (viz. obr. č. 56 a č. 57).



Obr. č. 56 Diagram zatížení a posunutí lišty SL2



Obr. č. 57 Diagram zatížení a posunutí lišty SL3

Rozptyl vypočtených charakteristik tohoto spoje je poměrně vysoký, což je zapříčiněno značnou nehomogenitou dřeva.

Z uvedených experimentů vyplývá:

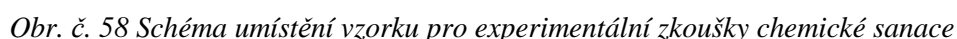
- únosnost spřažení pomocí ocelové vlepené lišty ovlivňuje:
 - technologie provádění lepeného spoje;
 - stav dřeva, množství smolníků, trhlin a suků;
- zkouška dle ČSN EN 26891 v upraveném lisu je vhodnou experimentální metodou k ověření únosnosti spřažení.

Pro další experimentální ověření konstrukce doporučuji doplnit zkouškami konstrukčních dílců s rozponem trámů 4 až 6 m.

5.4 Experimentální ověření chemické sanace

V případě, kdy přirozená trvanlivost dřeva je nedostatečná a je nutno použít chemickou ochranu dřeva, je nutné určit, který druh aplikace z hlediska příjmu je nejvhodnější. Tyto zkoušky se provádějí v souladu s normou ČSN EN 351-1: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku. Pro experimentální zkoušku chemické sanace byly použity přířezy konstrukčních prvků nalezené na půdě zámku v Bílovci. Pro zkoušku nátěry a máčením byly vzorky rozděleny dle obr. č. 58. Pro zkoušku vakuovou impregnací a simulaci injektáže byly vzorky ponechány v celku.

K jednotlivým aplikacím byl použit univerzální přípravek Bochemit Forte typové označení podle ČSN 49 0600 (již neplatná norma, nyní ČSN EN 599-2: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Preventivní účinnost ochranných prostředků na dřevo stanovená biologickými zkouškami - Část 2: Klasifikace a značení.) - 1 FA, FB, IP, P, 1, 2, 3, 4, E, SP, jež slouží pro preventivní povrchovou ochranu a hloubkovou impregnaci dřevěných stavebních konstrukcí a prvků.



Pro provedení zkoušky nátěrem je nutné nejprve provést přípravu vzorků. Vzorky původního dřeva nejdříve při teplotě $101 \pm 3^\circ\text{C}$ vysušíme do konstantní hmotnosti (m_0) a následně je po dobu tří dnů necháme aklimatizovat ve zkušební laboratoři. Před vysušením je také možno orientačně změřit vlhkost odporovou metodou (w). Těsně před zkouškou vzorky zvážíme (m_w), určíme vlhkost hmotnostní metodou (w_m) a změříme rozměry tělesa. Pro zkoušku nátěrem stačí jen šířka (b) a výška (l) zkoušené plochy (A) tělesa.

Tabulka č. 18 Příprava vzorků na zkoušku nátěry a máčáním

Poté provádíme jednotlivé nátěry 10% roztokem koncentráту Bochemit Forte, určíme počet nátěrů, např. 4. Po každém nátěru vzorek zvážíme (m_x). Výsledkem je stanovení množství přijatého koncentráту na aplikovanou plochu dle vztahu:

$$p_x = 0,1 \cdot \frac{m_x - m_n}{A} \quad (21)$$

, kde:

A je plocha sloužící k aplikaci nátěru $A = b \cdot l$ [m^2];

b je šířka vzorku [m];

l je délka vzorku [m];

m_n je hmotnost vzorku před provedením vrstvy nátěru (máčení) [g];

m_x je hmotnost vzorku po provedení vrstvy nátěru (máčení) [g].

Vzorek	p_1 [g/m^2]	p_2 [g/m^2]	p_3 [g/m^2]	p_4 [g/m^2]
NV1S1	19,3	22,3	26,4	28,4
NV1S2	14,6	18,8	24,0	27,1
NV1S3	10,6	14,8	22,3	24,4
NV1S4	8,5	17,0	21,2	24,4
NV1V1	11,7	21,5	24,4	28,4
NV1V2	12,4	19,8	24,8	32,2
NV1V3	7,9	11,8	16,7	19,7

Tabulka č. 19 Příjmy koncentráту z aplikace nátěrů

Vzorek	p_{11} [g/m^2]	p_{12} [g/m^2]	p_{13} [g/m^2]	p_{14} [g/m^2]
NV1S1	19,3	3,0	4,1	2,0
NV1S2	14,6	4,2	5,2	3,1
NV1S3	10,6	4,2	7,4	2,1
NV1S4	8,5	8,5	4,2	3,2
NV1V1	11,7	9,8	2,9	3,9
NV1V2	12,4	7,4	5,0	7,4
NV1V3	7,9	3,9	4,9	2,9

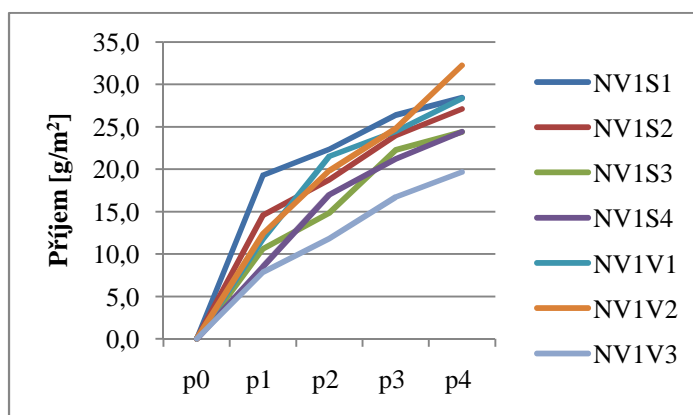
Tabulka č. 20 Příjmy koncentráту v jednotlivých krocích z aplikace nátěrů

Pro 2. třídu ohrožení (viz. kapitola 4.2) konstrukce je výrobcem předepsaný minimální příjem ochranného prostředku $10 g/m^2$. U většiny vzorků byl příjem dosažen již po jedné aplikaci

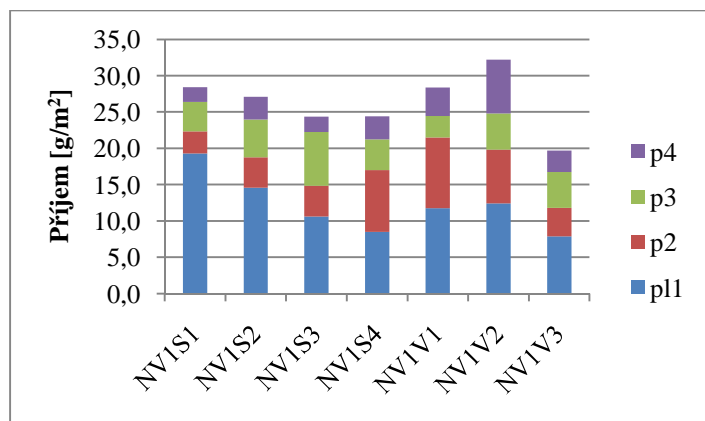
nátěru, při druhém nátěru je dosaženo požadovaného příjmu u všech vzorků. Z grafů a tabulek je vidět, že nejvíce roztoku vnesl do vzorku první nátěr, s každým dalším nátěrem se množství přijatého roztoku snižovalo. Největšího výsledného příjmu bylo dosaženo u vzorku NV1V2, což je zapříčiněno větším množstvím požeru od tesaříků.



Obr. č. 59 a č. 60 Vzorky po provedení čtyř aplikací nátěrů



Graf. č. 1 Průběh příjmu nátěru



Graf. č. 2 Zobrazení jednotlivých příjmů nátěrů

5.4.2 Máčení

Před zkouškou máčením je nutné provést také přípravu, která je obdobná jako v předchozím případě. Určíme hmotnost vzorků (m_0), rozdílné je to, že pro máčení je nutné ze všech rozměrů tělesa (šířka b , tloušťka h a délka l) vypočítat máčenou plochu (A). K zamezení pozitivních příjmů vzorků je nutné radiální řezy, které jsou v porovnání s podélným a transverzálním řezem vodivější, natřít vrstvou parafínu. Vzorky ponoříme vždy na 10 minut do 10% roztoku koncentráту Bochemit forte, zatížíme je a po uplynutí doby vytáhneme, povrchově osušíme a zvážíme (m_x). Tento postup opakujeme šestkrát, příjem následně vypočteme také podle vztahu:

$$p_x = 0,1 \cdot \frac{m_x - m_n}{A} \quad (21)$$

, kde:

A je plocha sloužící k aplikaci roztoku máčením určená $A = 2 \cdot (b + h) \cdot l$ [m^2];

b je šířka vzorku [m];

h je výška vzorku [m];

l je délka vzorku [m];

m_n je hmotnost vzorku před provedením máčení (nátěru) [g];

m_x je hmotnost vzorku po provedení máčení (nátěru) [g].

Při aplikaci chemického prostředku máčením je důležité zaznamenat změny rozměrů po provedení uvedeného postupu, které jsou způsobeny zvýšeným příjmem kapaliny (bobtnání).

Vzorek	p_{10} [g/m^2]	p_{20} [g/m^2]	p_{30} [g/m^2]	p_{40} [g/m^2]	p_{50} [g/m^2]	p_{60} [g/m^2]
NV2S1	20,0	25,4	27,9	30,0	31,8	34,3
NV2S2	18,2	23,6	26,5	29,0	30,5	32,7
NV2S3	19,7	24,1	27,7	30,3	31,4	33,9
NV2S4	24,5	34,0	42,0	47,1	50,1	53,0
NV2V1	20,2	25,8	29,6	31,7	33,5	35,6
NV2V2	40,8	52,5	61,4	67,1	70,7	76,0
NV2V3	25,3	32,9	38,1	43,3	45,0	48,4

Tabulka č. 21 Příjmy koncentráту z aplikace máčením

Vzorek	p ₁₁₀ [g/m ²]	p ₁₂₀ [g/m ²]	p ₁₃₀ [g/m ²]	p ₁₄₀ [g/m ²]	p ₁₅₀ [g/m ²]	p ₁₆₀ [g/m ²]
NV2S1	20,0	5,4	2,5	2,1	1,8	2,5
NV2S2	18,2	5,4	2,9	2,5	1,5	2,2
NV2S3	19,7	4,4	3,6	2,6	1,1	2,6
NV2S4	24,5	9,5	8,0	5,1	2,9	2,9
NV2V1	20,2	5,6	3,8	2,1	1,7	2,1
NV2V2	40,8	11,7	8,9	5,7	3,6	5,3
NV2V3	25,3	7,6	5,2	5,2	1,7	3,5

Tabulka č. 22 Příjmy koncentráту v jednotlivých krocích z aplikace máčení

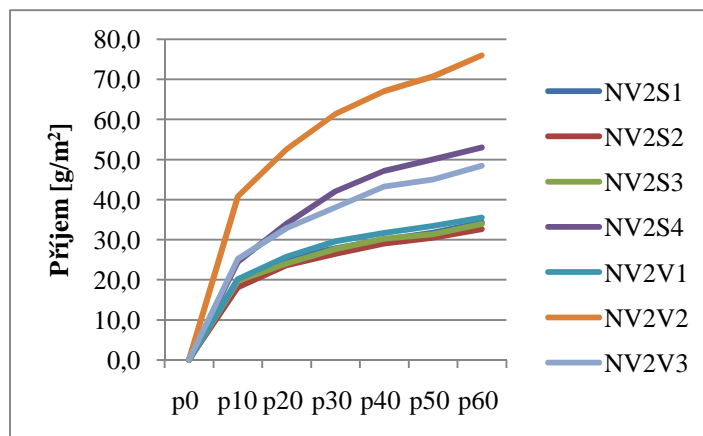


Obr. č. 61 Vzorky po zkoušce máčením

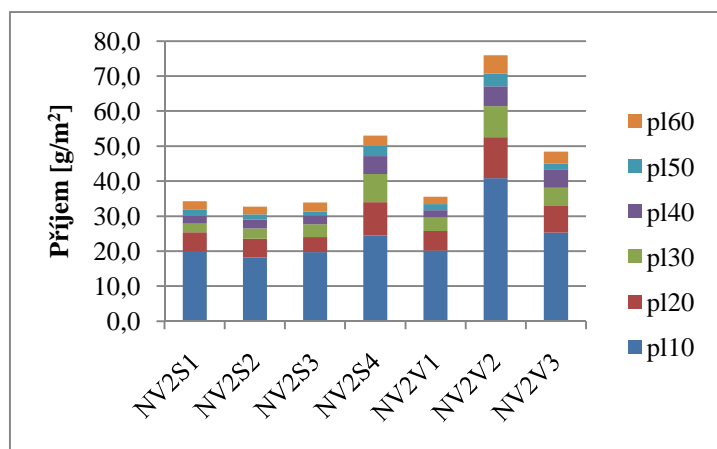


Obr. č. 62 Odloupnutí vrstvy parafínu

Pro 2. třídu ohrožení konstrukce je stejně jako u nátěrů výrobcem předepsaný minimální příjem 10 g/m², což je ve všech případech dosaženo již po deseti minutách máčení. Z grafů a tabulek je vidět, že nejvíce roztoku bylo přijato právě v těchto prvních deseti minutách a v následujících intervalech byl tento zisk výrazně menší. Největšího konečného příjmu bylo dosaženo u vzorku NV2V2, což opět zapříčinila degradace způsobena požerky tesaříka krovového. Zvětšený příjem v posledních 10 minutách máčení zapříčinilo to, že parafínová vrstvička, která měla zabránit pozitivnímu zisku roztoku, se začala odlupovat (viz. obr. č. 62).



Graf č. 3 Průběh příjmu při máčení



Graf č. 4 Zobrazení jednotlivých příjmů máčení

Z výsledků, získaných měřením vzorků před a po provedení zkoušky, byly stanoveny procentuální změny rozměrů po 60 minutách máčení v 10 % roztoku přípravku Bochemit forte. Ve směru vláken jsou dle předpokladů změny nejmenší, zatímco deformace radiálního řezu jsou naopak největší.

Vzorek	Δb [%]	Δh [%]	Δl [%]
NV2S1	1,011	1,324	0,331
NV2S2	1,414	1,510	0,662
NV2S3	1,088	1,376	0,413
NV2S4	2,943	0,238	0,495
NV2V1	1,272	0,576	0,496
NV2V2	1,599	2,777	0,908
NV2V3	1,733	7,208	0,329

Tabulka č. 22 Procentuální změny rozměrů

5.4.3 Vakuová impregnace

Simulace vakuové impregnace odebraného dřeva z trámového stropu v Bílovci byla prováděna 2% roztokem přípravku Bochemit Forte Profi, jež je určen pro vakuovou impregnaci. Nejprve bylo nutno zvážit (m_0) a změřit vzorek před injektáží a určit jeho vlhkost odporovou metodou. Radiální řezy vzorku se nahřejí (zabrání následnému odlupování vrstvy parafínu) a na ně aplikujeme parafín, abychom zamezili zvýšenému pozitivnímu zisku roztoku, který může být u vzorků malých rozměrů zkreslující.

Následně se vzorek umístí do nádoby, ve které bude prováděna tlaková impregnace (viz. obr. č. 63). Při samotném provádění zkoušky byl zvolen režim, kde byl nejprve vyvozen na dobu 2 hodin podtlak 10 kPa (- 0,9 atm.), následná fáze přetlaku o velikosti 700 kPa (+6 atm.) trvala 3 hodiny a opět proběhl po dobu 15 minut podtlak 50 kPa (-0,5 atm.). První fáze podtlaku slouží k odstranění vzduchu v systému kapilár a pórů, které brání prosycení vzorku roztokem, ve fázi přetlaku je impregnační roztokem vtlačován do pórů a ve druhé podtlakové fázi, je přebytečný roztok odsáván ven, aby nedocházelo k jeho stékání po vyjmutí z tlakové nádoby. Po ukončení zvoleného režimu vyjmeme vzorek ze zkušební nádoby a opět zvážíme (m_1).



Obr. č. 63 Nádoba sloužící k simulaci vakuové impregnace

Výsledky zkoušky je možné vyhodnotit jednak plošně nebo objemově. Plošné vyhodnocení příjmu stanovíme dle vzorce:

$$p_x = 0,02 \cdot \frac{m_1 - m_0}{A} \quad (22)$$

, kde A je plocha vzorku vystavená působení roztoku.

$$m_0 = 1519,6g$$

$$m_1 = 1728g$$

$$A = (0,1 + 0,1 + 0,075 + 0,075 + 0,036) \cdot 0,295 = 0,36m^2$$

$$p = 0,02 \cdot \frac{1728,1 - 1519,6}{0,36} = 11,58 \frac{g}{m^2}$$

Porovnáme – li výslednou hodnotu 11,58 g/m² s požadovanou hodnotou příjmu koncentráту pro 2. třídu ohrožení uváděnou výrobcem 10 g/m², zjistíme, že zvolený režim vakuové impregnace je vyhovující.



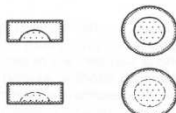



Obr. č. 64 a č. 65 Řezy dřevem po provedení vakuové impregnace

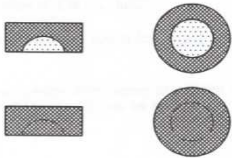
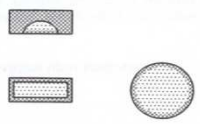
Objemové vyhodnocení příjmu roztoku probíhá dle normy ČSN EN 351-1 Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku. Podle postupu uvedeného v této normě zařadíme v závislosti na třídě ohrožení a odolnosti dřevěného prvku, zařadíme zkoumané dřevo do třídy penetrace – (viz. obr. č. 66). Díky tomuto zařazení do tříd se stanoví požadavky na hloubku penetrace a velikost analytické zóny pro analytické vyhodnocení příjmu přípravku. Požadovaný příjem se stanovuje dle údajů uvedených výrobcem (pro 2. třídu

8 kg/m³). Hodnocení se provádí na řezu, kde se stanoví tvar a hloubka penetrace – v našem případě 3 mm, jelikož je ovšem třeba provést analytický rozbor penetrované oblasti, zda příjem v ní odpovídá požadavkům výrobce, toto vyhodnocení nebude aplikováno.

Table 1 — Penetration classes showing penetration requirements and corresponding analytical zones for retention measurements

Penetration class	Penetration requirements ^b	Analytical zone	Stylized illustration of penetration requirements
NP1	None	3 mm lateral	
NP2	Minimum 3 mm lateral into the sapwood	3 mm lateral into sapwood ^c	 If it is impossible to distinguish between sapwood and heartwood
NP3	Minimum 6 mm lateral into the sapwood	6 mm lateral into sapwood ^c	 If it is impossible to distinguish between sapwood and heartwood
NP4 ^a	Minimum 25 mm lateral	25 mm lateral into sapwood ^c	 Sapwood depth > 25 mm

(continued)

Penetration class	Penetration requirements ^b	Analytical zone	Stylized illustration of penetration requirements
NP5	Full sapwood	Full sapwood ^c	 If it is impossible to distinguish between sapwood and heartwood
NP6	Full sapwood and min 6 mm into exposed heartwood	Full sapwood and 6 mm into exposed heartwood	 Only if heartwood is present

Key (for figures)

— boundary between sapwood and heartwood when it can be distinguished.
 - - - boundary between sapwood and heartwood when it cannot be distinguished.

^a Applies to round wood of resistant species only.

^b The ability to meet the requirements of a penetration class will depend on the treatability of the timber concerned. It should be recognised that it will not be possible to achieve certain penetration requirements with certain timbers and with some, special measures may be required to achieve the target penetrations (eg. incising, special drying schedules, dip-diffusion). Experience indicates this to be the case for NP5 and NP6 treatments of spruce (*Picea spp.*).

^c If it is impossible to distinguish between sapwood and heartwood the penetration requirement and the analytical zone have to be assumed to be the sapwood depth specified for the respective penetration class.

Obr. č. 66 Určení tříd penetrace [4]

5.4.4 Simulace injektáže

Další možnosti aplikování chemické ochrany 2% roztokem přípravku Bochemit Forte Profi je injektáž, kdy pod tlakem, který vyvodí čerpadlo, je vháněn přípravek přes tlakovou nádobu do vrutu, předvrtaného a upevněného v injektovaném dřevě. Použitou aparaturu je možné vidět na obrázku č. 67. V laboratorních podmínkách se povedl vyvodit tlak pouze 3,5 atm., což se vzhledem ke tvaru průniku a množství přípravku jeví jako nedostatečné.



Obr. č. 67 Aparatura sloužící k simulaci injektáže



Obr. č. 68 Tlaková injektáž č. 3



Obr. Č. 69 Řez v místě injektáže č. 3

Při prvním pokusu injektáže byl vrut navrtán v místě degradace dřevokazným hmyzem tak, že při zvýšení tlaku roztok vytékal přes pozer tesaříků a zkouška byla zastavena.

Příjem roztoku činil rovných 8 g. V druhém případě byl pro injektáž vyvrtán otvor procházející pouze jádrovým dřevem. Zkouška byla prováděna po dobu 1 hodiny a celkově bylo přijato 15,9 g roztoku. Ve třetím pokusu byl vrt veden kolmo k letokruhům přes bělové dřevo k jádru a opět se injektovalo po dobu 1 hodiny, hmotnost přijatého roztoku byla 27,3 g (viz. obr. č. 68 a č. 69). Poslední experimentální injektáž byla prováděna pouze v bělovém dřevu po dobu 30 minut a bylo přijato 8,6 g roztoku. Na řezech, které byly provedeny v blízkosti vrtů, je patrné, že penetrace roztokem proběhla pouze do malé hloubky. Z tohoto důvodu se injektáž jeví při tak malém tlaku jako nevhodný způsob aplikace.

5.4.5 Posouzení vhodnosti jednotlivých aplikací chemické ochrany

Z hlediska výsledků jednotlivých druhů aplikace koncentráту přípravku Bochemit Forte se jako nejméně vhodný způsob použití chemické ochrany jeví injektáž. Při laboratorních podmínkách nebylo možné vyvodit dostatečný tlak, který by zajistil ochranu dřeva, a tudíž nejsme schopni určit ani její režim aplikace.

Naproti tomu máčení a vakuová impregnace vykazuje dostatečné množství příjmu koncentráту, ovšem je ji možné použít na prvky nové nebo na prvky demontované ze stropní konstrukce. Druhá zmíněná možnost je z hlediska finančního velice nákladná a tudíž se pro zkoumanou konstrukci nedoporučuje. Pro nové dřevěné prvky (smrkové), které budou sloužit k nahrazení silně poškozených částí, se doporučuje aplikovat 10 % roztok koncentráту Bochemit Forte máčením nebo 2% roztokem koncentráту Bochemit Forte Profi vakuovou impregnací podle údajů uvedených výrobcem pro smrkové dřevo.

Nejvhodnější aplikací 10% roztoku koncentráту, kterou lze provádět in situ, je nátěr. Z měření vyplývá, že již po dvou vrstvách nátěru bylo dosaženo požadovaného příjmu. Toto ošetření je možné provádět po odstranění podlahy a záklopu ze tří přístupných stran, v místech kde podhled tvoří samostatná konstrukce ze stran čtyř. Pokud by bylo v návrhu užívání nutné odstranění podhledu, je vhodné i nepřístupnou spodní stranu stropnic ošetřit dvěma vrstvami nátěru.

5.5 Vyhodnocení sanací trémového stropu z hlediska požadavků památkové péče, ekonomiky a vlivu na životní prostředí

Z hlediska ekonomického a ekologického je žádoucí, aby v historických objektech byly zachovány původní materiály v co největším rozsahu. Tato skutečnost je v souladu s filosofií památkové péče. Jako příklad můžeme uvést u dřevěných konstrukcí použití stejného druhu dřeva se stabilizovanou vlhkostí. Díky plavení (vyplavení živin), těžbě dřeva v zimě (dřevo s nižší vlhkostí) a ručnímu zpracování tesáním a hoblováním (odkrytí i méně zřetelných vad - suky, trhliny, odklon vláken ...) byla kvalita použitého dřeva vysoká. [22]

Konstrukce trémového stropu nad 2. NP v zámku v Bílovci pochází z rekonstrukce zámku v 50. letech, tudíž se jedná o konstrukci novodobou, kde požadavky na zachování památkové hodnoty materiálu nemají tak zásadní charakter. Je nutné dodržet výšku stropní konstrukce, aby byla zachována výška druhého podlaží. Z tohoto důvodu je nutné ponechat oddělené konstrukční celky podhledu a stropu v místech, kde se tyto části nacházejí.

Skladba podlahy se volí dle statických výpočtů určených v návrhu spřaženého stropu. Pokud návrh využití 2. NP nevyžaduje výměnu podhledu, ponecháme jej bez úprav. Při aplikaci vrutů musíme postupovat dle údajů uvedených výrobcem. V případě lepeného spoje použité lepidlo PURBOND i lepidlo na dřevo SOUDAL 66A vyhovují hygienickým limitům a je nutné při aplikaci postupovat dle bezpečnostních listů. V případě použití dřevobetonového stropu je nutné postupovat dle ověřených zásad (izolace mezi železobetonovou deskou a trém, odmaštění spřahovacího prvku, neaplikovat na dřevo napadené dřevokaznými houbami, s vysokou vlhkostí atd.) Použití této technologie je vzhledem k ostatním formám sanace poměrně nákladné, ovšem ponecháním stávajících trámů s podhledem ekonomickou náročnost opravy snižují. Důležitým efektem je zajištění značné únosnosti a tuhosti stropní konstrukce.

Určené degradované prvky budou částečně nebo úplně vyměněny za strojně opracované dřevo ošetřeno 2 % roztokem přípravku Bochemit Forte Profi vakuovou impregnací, případně máčením v 10% roztoku koncentrátu Bochemit Forte. Ponechané stropnice budou ošetřeny nátěrem taktéž 10% roztokem koncentrátu Bochemit Forte. Ekonomicky výhodné je ponechání takto ošetřeného dřeva ve zpevněné konstrukci. Všechny přípravky řady Bochemit Forte vyhovují hygienickým limitům. Při jejich použití je nutné postupovat

dle pokynů v bezpečnostních listech (odvětrávat prostory, respirátory atd.), nepoužitý koncentrát a roztok je nutné likvidovat jako nebezpečný odpad. Nátěr barví dřevo do zelena, jelikož se jedná o konstrukci zakrytou, nehodnotí se barevný efekt z památkového hlediska jako nepřípustný.

Navržená konstrukční i chemická sanace vyhovuje za předpokladu dodržení výše uvedených zásad z hlediska hygienických limitů i dopadů na životní prostředí. Zkoumaná konstrukce je novodobá, sanace samotné dřevěné stropní konstrukce technologií spřažení dřeva a betonu je z hlediska principů památkové péče přípustná. Provádění těchto činností nesmí poškodit ani narušit charakter ostatních historicky cenných částí.

6. Závěr

Dřevěné trámové stropy se vyskytují ve většině památkově chráněných budov a i u mnoha dalších staveb. Trvanlivost dřevěných konstrukcí je ovlivněna vlhkostí, výskytem dřevokazných hub a hmyzu a jiných činitelů. Dlouhodobým zatížením dochází k dotvarování a výraznému průhybu trámů, při užívání může konstrukce kmitat a nevyhovující může být také z hlediska nedostatečné zvukové a tepelné izolace. Z tohoto důvodu jsou tyto konstrukce často předmětem oprav. Před návrhem sanace je nutné provést stavebně technický průzkum a analýzu konstrukce.

Trámové stropy historických konstrukcí vyžadují z hlediska své povahy specifický přístup, jelikož jejich technologie provádění se od těch dnešních výrazně liší. Zároveň je nutné zachovat v co největší míře všechny cenné části. Při provádění stavebně technického průzkumu musí být dbáno na co nejmenší narušení konstrukce se současným získáním potřebných informací o konstrukci. Z tohoto důvodu je žádoucí využití optických přístrojů, a tak minimalizovat zásahy do konstrukce. Umístění a způsob odkrytí sond musí být odsouhlaseno příslušným orgánem památkové péče. V případě trámového stropu nad 2. NP zámku v Bílovci (novodobá konstrukce z 50. let minulého století) byla prováděna sondáž kopaná i vrtaná. Při průzkumu byla zjištěna skladba stropní konstrukce, dále byly definovány vady a poruchy stropní konstrukce. Většina stropnic se nachází ve velice dobrém stavu.

Po vyhodnocení stavebně technického průzkumu a analýzy konstrukce je možné navrhnout vhodnou konstrukční sanaci. V případě stropu nad 2. NP na zámku v Bílovci zesílení pomocí spřažení stropnic s železobetonovou deskou pomocí vrutů nebo lišt, vyměněním degradovaných částí a provedení chemické sanace 10% roztokem chemického přípravku Bochemit Forte. Veškeré zásahy do památkově chráněných objektů podléhají schválení památkového úřadu. Vhodnost sanačních opatření se hodnotí z hlediska ekonomické náročnosti a vlivu na životní prostředí.

Problematika rekonstrukcí a sanací historických konstrukcí je velice rozsáhlá a zahrnuje mezioborovou spolupráci odborníků stavebního a uměleckého zaměření, a také pracovníků památkové péče. Výsledkem jejich kooperace by mělo být skloubení současných požadavků na objekty se zachováním historické hodnoty dané budovy.

7. Poděkování

Článek byl vytvořen v rámci Studentského grantu SP/2010116.

Ráda bych poděkovala Ing. Janě Daňkové za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při psaní této práce.

Mé poděkování patří také městu Bílovec za zpřístupnění zámku, ten se stal objektem pro provedení stavebně technického průzkumu.

Dále bych chtěla poděkovat laboratoři stavebních hmot, jmenovitě Ing. Liboru Žídkovi a Ing. Janu Hurtovi, za pomoc při provádění zkoušek a průzkumu zámku v Bílovci a firmě Bochemie a. s. za odborné rady a pomoc při provádění zkoušek chemického ošetření.

8. Seznam použitých pramenů

Technické normy:

- [1] ČSN EN 335-1: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 1: Všeobecné zásady
- [2] ČSN EN 335-2: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Definice tříd použití – Část 2: Aplikace na rostlé dřevo
- [3] ČSN EN 350-2: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě
- [4] ČSN EN 351-1: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Rostlé dřevo ošetřené ochrannými prostředky – Část 1: Klasifikace průniku a příjmu ochranného prostředku
- [5] ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností
- [6] ČSN EN 460: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Přirozená trvanlivost rostlého dřeva – Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení
- [7] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- [8] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí
- [9] ČSN EN 1995-1: Navrhování dřevěných konstrukcí
- [10] ČSN EN 13183-2: Vlhkost vzorku řeziva – Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou
- [11] ČSN EN 26891: Dřevěné konstrukce – Spoje s mechanickými spojovacími prostředky – Všeobecné zásady pro zjišťování charakteristik únosnosti a přetvoření
- [12] ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí

Literatura:

- [13] BALÍK, M. *Odvlhčování staveb*, Praha: Grada, 2008, ISBN 978-80-247-2693-9
- [14] BLÁHA, J., et al. *Operativní průzkum a dokumentace historických staveb*, Praha : NPÚ, 2005, ISBN 80-86516-18-0
- [15] GRŮZA, A., AUGUSTINKOVÁ, L. *Stavebně – historický průzkum zámku Bílovec*, Ostrava: Státní památkový úřad, 2001
- [16] HOBST, L., ADÁMEK, J. a kol. *Diagnostika stavebních konstrukcí přednášky*, Brno: FAST VUT, 2005
- [17] KLEČKA, T., KOLÍSKO, J., BOUŠKA, P. *Zkoušení stavebních hmot a konstrukcí II. Zkoušky materiálů, stavebních prvků a konstrukcí*, Praha: SEKURKON, 1999, ISBN 80-902756-1-3
- [18] KOHOUT, J., TOBEK, A., MÜLLER, P. *Tesařství – Tradice z pohledu dneška*, Praha : Grada, 1996, ISBN 80-7169-413-4
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ – *Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. díl*, Praha : Idea servis, 2008, ISBN 978-80-85970-62-3
- [20] KOLEKTIV AUTORŮ – *Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky III. díl*, Praha : Idea servis, 2008, ISBN 978-80-85970-67-8
- [21] KUKLÍK, P. *Dřevěné konstrukce*, Praha: ČKAIT, 2005, ISBN 80-86769-72-0
- [22] PEK, T. *Stavební památky – Specifika přípravy a financování jejich obnovy, údržby a provozu*, Praha : Wolters kluwer, 2009, ISBN 978-80-7357-462-8
- [23] SCHMID, P. *Základy zkušebnictví*, Brno: VUT, 2004, ISBN 80-214-2584-9
- [24] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*, Bratislava: Jaga, 2004, ISBN 80-8076-007-1
- [25] ŠKABRADA, J. *Konstrukce historických staveb*, Praha : Argo, 2003, ISBN 80-7203-548-7

[26] ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L. *Stavba dřeva*, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, ISBN 978-80-7375-168-5

[27] VINAŘ, J. *Konstrukce historických staveb*, Praha : Stop, 2006, ISBN 80-86657-05-1

[28] WITZANY, J., et al. *PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce*, Praha: ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04488-9

[29] ŽÁK, J., REINPRECHT, L. *Ochrana dřeva ve stavbě*, Praha: Abf, 1998, ISBN 80-86165-00-0

Odborné články:

[30] DAŇKOVÁ, J., MURÍNOVÁ, T., SEKANINA, D. *Dřevobetonové stropní konstrukce v historických objektech*, 32.mezinárodní konference Sanace a rekonstrukce staveb, 2010, ISBN 978-80-02-02273-2, str. 226 - 231

[31] HOLAN, J., KLOIBER, M. *Stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí*, Praha: Vědecko technická společnost pro sanace staveb a péče o památky, 2004, ISBN 80-02-01683-1, str. 30 - 39

[32] LOKAJ, A. et al. *Nedestruktivní zjišťování materiálových charakteristik dřevěných konstrukcí*, Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou, 2010, ISBN 978-80-970171-2-5

[33] REINPRECHT, L. *Zpevňování dřevěných prvků v konstrukci*, Praha: Realizace staveb 01/2006, ISSN 1802-0631, str. 24 – 29

Internetové adresy:

[34] [HTTP://WWW.NPU.CZ/](http://www.npu.cz/)

Přílohy

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Stavebně historický průzkum 2.NP zámku v Bílovci

Příloha č. 2 Popis sondy KS1 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 3 Popis sondy KS2 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 4 Popis sondy KS3 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 5 Popis sondy KS4 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 6 Popis sondy VS1 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 7 Popis sondy VS2 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 8 Popis sondy VS3 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 9 Popis sondy VS4 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 10 Popis sondy VS5 a VS6 ze stavebně technického průzkumu

Příloha č. 11 Grafické zpracování analýzy konstrukce

Příloha č. 12 Informace o použitých vrutech – údaje od výrobce

Příloha č. 13 Výsledky experimentální zkoušení spřažení vruty

Příloha č. 14 Bezpečnostní list lepidla PURBOND

Příloha č. 15 Technický list lepidla na dřevo 66A – vodostálé (Soudal)

Příloha č. 16 Výsledky experimentálního zkoušení spřažení lištou – fáze 1

Příloha č. 17 Výsledky experimentálního zkoušení spřažení lištou – fáze 2

Příloha č. 18 Technický list přípravku Bochemit Forte

Příloha č. 19 Výsledky experimentálního chemického ošetření nátěrem

Příloha č. 20 Výsledky experimentálního chemického ošetření máčením

Výkres č. 1 Půdorys I. patro

Výkres č. 2 Řez budovou

Výkres č. 3 Sondáž na zámku v Bílovci

